

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

Herr Ing.  
**Christian Steinbichler**

**Optimierung einer  
sternförmigen Bodenheizung  
eines Druckbehälters**

Mittweida, 2017

# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Optimierung einer sternförmigen Bodenheizung eines Druckbehälters**

Autor:  
**Herr Ing.**

**Christian Steinbichler**

Studiengang:  
**Maschinenbau**

Seminargruppe:  
**KM08w2MVA**

Erstprüfer:  
**Prof. Dr.-Ing. Gerhard Gebhardt**

Zweitprüfer:  
**Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Winkler**

Einreichung:  
**Mittweida, 25.Februar.2017**

Verteidigung/Bewertung:  
**Mittweida, 2017**

# **DIPLOMA THESIS**

---

## **Optimization of starshaped bottom heating of a pressure vessel**

author:

**Mr. Ing.**

**Christian Steinbichler**

course of studies:

**mechanical engineering**

seminar group:

**KM08w2MVA**

first examiner:

**Prof. Dr.-Ing. Gerhard Gebhardt**

second examiner:

**Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Winkler**

submission:

**Mittweida, 25.Februar.2017**

defence/ evaluation:

**Mittweida, 2017**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Steinbichler, Christian:

Optimierung einer sternförmigen Bodenheizung eines Druckbehälters.- 2017.- 81 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fakultät Ingenieurwissenschaften,  
Fachhochschul-Studiengang Maschinenbau, Diplomarbeit, 2017

## **Referat:**

Ziel dieser Diplomarbeit ist es eine spezielle Ausführung einer sternförmigen Bodenheizung eines Apparates bzw. Druckbehälters hinsichtlich Berechnung und Fertigung zum heutigen Stand der Technik zu optimieren. Da diese Beheizungsart bei Druckbehältern auf Grund der großen Heiz- bzw. Kühlfläche sehr beliebt ist, jedoch auf Grund der konservativen Berechnung und Ausführung in den letzten Jahren unwirtschaftlich geworden ist bzw. die Verkaufszahlen von Druckbehältern mit einer sternförmigen Bodenheizung sehr gesunken sind, werden die Festigkeitsberechnung, Ausführung und Fertigungsschritte zum gegenwärtigen Zeitpunkt erläutert und zugleich untersucht, welche Maßnahmen zukünftig getroffen werden müssen, um die sternförmige Bodenheizung wirtschaftlich zu fertigen und die Verkaufszahlen in diesem Bereich wieder zu steigern.



# Inhalt

<b>Inhalt.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1 Zugang zum Thema .....	7
1.2 Problemstellung .....	7
<b>2 Arten von Behälterheizungen mittels Fluide .....</b>	<b>8</b>
2.1 Rohrschlangen .....	9
2.1.1 Grundlagen <sup>1</sup> .....	9
2.1.1.1 Außenliegende Rohrschlangen <sup>2</sup> .....	9
2.1.1.2 Innenliegende Rohrschlange .....	10
2.1.2 Herstellung .....	12
2.2 Halbrohrschlangen .....	14
2.2.1 Grundlagen .....	14
2.2.2 Herstellung .....	16
2.2.3 Schweißen von Halbrohrschlangen <sup>11</sup> .....	17
2.2.3.1 Grundlagen .....	17
2.2.3.2 WIG Heißdrahtverfahren zum Schweißen von Halbrohrschlangen <sup>11</sup> .....	18
2.2.3.3 Multiprozessfähige Technologie beim Schweißen von Halbrohrschlangen <sup>11</sup> ..	19
2.3 Pillow Plates .....	22
2.3.1 Grundlagen <sup>14</sup> .....	22
2.3.2 Herstellung <sup>16</sup> .....	24
2.3.2.1 Walzen von Pillow Plates .....	24
2.3.2.2 Kanten von Pillow Plates .....	25
2.3.2.3 Montieren von Anschlüssen auf Pillow Plates .....	25
2.3.2.4 Verwenden von Schweißkronen .....	26
2.3.2.5 Aufweitung von Pillow Plates .....	28
2.4 Doppelmantel .....	29
2.5 Sternförmige Bodenheizung .....	32
2.5.1 Einleitung .....	32
2.5.2 Grundlagen .....	33

2.5.3	Ausführung .....	33
2.5.4	Beschreibung .....	37
<b>3</b>	<b>Betrachtung der Sternheizung hinsichtlich gegenw. Ausführung .....</b>	<b>43</b>
3.1	<i>Berechnung der sternförmigen Bodenheizung .....</i>	<i>43</i>
3.1.1	Einführung .....	43
3.1.2	Berechnung nach dem Regelwerk AD2000 B5 .....	44
3.1.3	Ergebnis der Berechnung nach dem Regelwerk AD2000 B5: .....	48
3.2	<i>Aktuelle Ausführung der Schweißnahtvorbereitung und Schweißnähte.....</i>	<i>49</i>
3.2.1	Schweißnaht zw. Versteifungsrippe und Behälterboden.....	49
3.2.2	Schweißnaht zw. Behälterboden und gewölbter Scheibe .....	50
3.2.3	Schweißnaht zw. Behälterboden, gewölbter Scheibe und Innenring .....	50
3.3	<i>Gegenwärtige Herstellung der Bodenheizung .....</i>	<i>51</i>
3.3.1	Arbeitsablauf .....	51
3.4	<i>Fazit.....</i>	<i>56</i>
<b>4</b>	<b>Betrachtung der Sternheizung hinsichtlich gegenw. Technologien .....</b>	<b>59</b>
4.1	<i>Berechnung mittels Finite Elemente Methode .....</i>	<i>59</i>
4.1.1	Berechnung d. sternförmigen Bodenheizung mit Solid Works Simulation.....	60
4.1.2	Ergebnis der FEM-Berechnung für die sternförmige Bodenheizung .....	72
4.2	<i>Untersuchung auf Verzicht der Schweißkantenanarbeitung .....</i>	<i>73</i>
4.3	<i>Prüfung von Fertigungsmöglichkeiten hinsichtlich gegenw. Technologien.....</i>	<i>77</i>
4.4	<i>Zukünftige Herstellung der Bodenheizung.....</i>	<i>79</i>
4.4.1	Arbeitsablauf .....	79
4.5	<i>Fazit.....</i>	<i>82</i>
<b>5</b>	<b>Einsparung von Kosten hinsichtlich Material und Fertigung .....</b>	<b>83</b>
5.1	<i>Kostenaufstellung bei gegenwärtiger Herstellung.....</i>	<i>84</i>
5.2	<i>Kostenaufstellung bei zukünftiger Herstellung.....</i>	<i>85</i>
5.3	<i>Skizze für die Berechnung der Fertigungszeiten .....</i>	<i>86</i>
5.4	<i>Fazit.....</i>	<i>87</i>
<b>6</b>	<b>Schlussbetrachtung.....</b>	<b>89</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>90</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>93</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>94</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Querschnitt durch Behälterwände mit außen liegender Rohrschlange <sup>2</sup> .....	10
Abbildung 2: Rohrschlängensystem für Einbau in Reaktor <sup>3</sup> .....	11
Abbildung 3: Rohrschlange mit Kämmen zur Positionierung und Fixierung <sup>4</sup> .....	11
Abbildung 4: Rührbehälter mit Wärmeübertragungsvorrichtungen <sup>5</sup> .....	12
Abbildung 5: Wärmedurchgangskoeffizienten $k_w$ in Rührkesselreaktoren <sup>5</sup> .....	12
Abbildung 6: Rohr mit Rohr Schweißung mittels Orbitalverfahren <sup>6</sup> .....	13
Abbildung 7: Profilbiegemaschine zum Rollen von Rohrschlangen <sup>7</sup> .....	13
Abbildung 8: Zylindrische Halbprohrrschlange <sup>8</sup> .....	14
Abbildung 9: Halbprohrrschlange auf konischem Boden <sup>8</sup> .....	15
Abbildung 10: Halbprohrrschlange auf Kugelboden <sup>9</sup> .....	15
Abbildung 11: Formen eines Halbprohrrs <sup>10</sup> .....	16
Abbildung 12: Einrollen einer zylindrischen Halbprohrrschlange <sup>10</sup> .....	16
Abbildung 13: Schweißung spaltfrei <sup>11</sup> .....	18
Abbildung 14: Automatenträger mit Bodenfahwerk <sup>11</sup> .....	20
Abbildung 15: Automatenträger mit Ausleger <sup>11</sup> .....	20
Abbildung 16: Schweißnahtverfolgungssystem Variante 1 <sup>12</sup> .....	21
Abbildung 17: Schweißnahtverfolgungssystem Variante 2 <sup>13</sup> .....	21
Abbildung 18: Lasergeschweißtes Blech <sup>15</sup> .....	22
Abbildung 19: Lasergeschweißtes Blech (Konusboden) <sup>15</sup> .....	23
Abbildung 20: Lasergeschweißtes Blech nach dem Aufblasen <sup>15</sup> .....	23

Abbildung 21: Pillow Plates gekantet <sup>17</sup> .....	25
Abbildung 22: Öffnung zwischen Oberplatte und Grundplatte <sup>18</sup> .....	26
Abbildung 23: Schweißkrone eingesteckt <sup>19</sup> .....	27
Abbildung 24: Schweißkrone mit Grundplatte verschweißen <sup>19</sup> .....	27
Abbildung 25: Oberplatte mit Schweißkrone verschweißen <sup>19</sup> .....	27
Abbildung 26: Bsp.: Angabe des Aufweitdruckes in Abhängigkeit der Kissenhöhe <sup>20</sup> .....	28
Abbildung 27: Rührwerksbehälter mit Doppelmantel <sup>21</sup> .....	29
Abbildung 28: Strömungsdüse <sup>22</sup> .....	30
Abbildung 29: Strömungsdüse im montierten Zustand <sup>22</sup> .....	30
Abbildung 30: Behälter mit Leitspiralen (Doppelmantel nicht sichtbar) <sup>23</sup> .....	31
Abbildung 31: Behälter mit Halbrohrschlange und sternförmiger Bodenheizung <sup>23</sup> .....	32
Abbildung 32: Sternförmige Bodenheizung mit Rohrfüßen ausgenommen <sup>23</sup> .....	35
Abbildung 33: Sternförmige Bodenheizung mit Rohrfüßen nicht ausgenommen <sup>23</sup> .....	36
Abbildung 34: Draufsicht auf den Behälterboden von der Außenseite <sup>23</sup> .....	37
Abbildung 35: Schnitt entlang der Linie II - II <sup>23</sup> .....	38
Abbildung 36: Schnitt entlang Linie III - III <sup>23</sup> .....	38
Abbildung 37: Berechnung aus AD2000 B5 .....	45
Abbildung 38: Tafel 1 aus AD2000 B5 .....	45
Abbildung 39: Bild 2 aus AD2000 B5 .....	46
Abbildung 40: Abmessungen der sternförmige Beheizung <sup>23</sup> .....	47
Abbildung 41: Schweißdetail Rippe <sup>23</sup> .....	49
Abbildung 42: Schweißdetail Behälterboden und gewölbter Scheibe <sup>23</sup> .....	50
Abbildung 43: Schweißdetail Behälterboden, gewölbter Scheibe und Innenring <sup>23</sup> .....	50

Abbildung 44: Gewölbte Scheibe markiert.....	51
Abbildung 45: Manuelles Plasmaschneiden mit schräggestelltem Brenner .....	52
Abbildung 46: Rippenausschnitte nach dem Abschleifen .....	52
Abbildung 47: Rippe geheftet .....	53
Abbildung 48: Rippen geschweißt und passiviert .....	53
Abbildung 49: Rippe noch nicht gerichtet .....	54
Abbildung 50: Wurzelschweißung unter Füllung von Formiergas .....	54
Abbildung 51: Wurzelschweißnaht zwischen gewölbter Scheibe und Boden.....	55
Abbildung 52: Maschinelle Mehrlagenschweißung .....	55
Abbildung 53: Variantenvergleich von Schweißnähten 1 .....	73
Abbildung 54: Variantenvergleich von Schweißnähten 2 .....	74
Abbildung 55: Wurzelschweißnähte <sup>26</sup> .....	76
Abbildung 56: 3D – Plasmaschneidanlage <sup>27</sup> .....	77
Abbildung 57: Präzisionsschnitt mit 3D – Schneidanlage .....	78
Abbildung 58: Nahaufnahme der Präzisionsschnitte .....	78
Abbildung 59: Anheften der Versteifungsrippen.....	79
Abbildung 60: Rippen gerichtet und geheftet.....	80
Abbildung 61: Wurzelschweißung (1. Schweißlage).....	80
Abbildung 62: Decklage (2. Schweißlage) .....	81
Abbildung 63: Wurzelschweißung Boden/Scheibe .....	81
Abbildung 64: Maschinelle Mehrlagenschweißung .....	82
Abbildung 65: Skizze für Berechnung der Fertigungszeiten <sup>23</sup> .....	86
Abbildung 66: Rührbehälter 16m <sup>3</sup> aus Werkstoff 1.4571 .....	87

# Abkürzungsverzeichnis

<b>Zw.</b>	Zwischen
<b>FEM</b>	Finite Elemente Methode
<b><math>k_w</math></b>	Wärmedurchgangskoeffizient
<b>Bsp.</b>	Beispiel
<b>3D</b>	Dreidimensional
<b>z.B.</b>	zum Beispiel
<b>WIG</b>	Wolfram Inert Gas
<b>a-Maß</b>	definiert die Schweißnahtgröße
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>gegenw.</b>	gegenwärtiger
<b>usw.</b>	und so weiter
<b>ca.</b>	circa
<b>m/s</b>	Meter pro Sekunde
<b>dgl.</b>	dergleichen
<b>Fig.</b>	Figur
<b>d.h.</b>	Das heißt
<b>EWR</b>	Europäischer Wirtschaftsraum
<b>MW</b>	Mindestwanddicke
<b>mm</b>	Millimeter
<b><math>s_R</math></b>	Blechdicke Rippe
<b>ppm</b>	parts per million
<b>FE</b>	Finite Elemente
<b>LZ</b>	Legierungszuschlag
<b>CrNi</b>	Chrom Nickel

# 1 Einleitung

## 1.1 Zugang zum Thema

Nachdem die Verkaufszahlen von Druckbehältern mit einer sternförmigen Bodenheizung sehr gesunken sind und dadurch auch der Umsatz zurückgegangen ist, obwohl die Beheizungsart auf Grund der großen Heiz- bzw. Kühlfläche sehr beliebt ist, ist die Firma ENCO Energie Komponenten an mich herangetreten diese Problematik zu untersuchen. Die Aufgabenstellung war, den Grund für den Verkaufsrückgang zu erörtern und Maßnahmen zu treffen, die Verkaufszahlen in diesem Bereich wieder zu steigern.

## 1.2 Problemstellung

Heutzutage liegt die Problematik darin, dass für die Planung von Anlagen sehr viel Zeit aufgewendet wird und für die Hersteller von Anlagenkomponenten kaum mehr Zeit bleibt diese zu fertigen, da der Termin für die Anlageninbetriebnahme bei Projektstart feststeht. Aus diesem Grund ist es für Hersteller von Anlagenkomponenten sehr wichtig, die Lieferzeiten von Halbzeugen so gut wie möglich zu reduzieren. Um bei der Herstellung der Komponenten (z.B. Druckbehälter) besser planen zu können ist es wichtig gewisse Halbzeuge selbst wirtschaftlich fertigen zu können. Bei der sternförmigen Bodenheizung, die vermutlich auf Grund ihrer sehr aufwendigen Fertigung unwirtschaftlich geworden sind, sind die Lieferzeiten sehr gut planbar und um einiges kürzer als bei Alternativheizungen, da man nur von einem Vorlieferanten (Bodenhersteller) abhängig ist. Bei einem Druckbehälter mit sternförmiger Bodenheizung bekommt man die Halbzeuge mit einer Lieferung. Die Lieferzeiten für Klöpperboden und gewölbten Scheiben liegen derzeit bei ca. 4 – 6 Wochen. Bei der aus Kostengründen beliebten und oft verwendeten Bodenheizung mit Halbrohrschlangen liegen die Lieferzeiten bei weiteren 3 – 4 Wochen, da diese nach der Bodenherstellung von einer Fachfirma aufgebracht werden müssen. Daher ist der Verkaufspreis in Abhängigkeit mit der Lieferzeit sehr wichtig für einen positiven Auftragserhalt.

## 2 Arten von Behälterheizungen mittels Fluide

Auf vielen Gebieten der Technik kommen heute Behälter zum Einsatz, bei denen die darin enthaltenen Stoffe dadurch erwärmt oder gekühlt werden, dass ein Wärme- oder Kälteenergie enthaltendes Fluid in aufgeschweißten Leitungen entlang der Außen- bzw. Innenwandung des Behälters, durch aufgeschweißte Doppelmantel oder Pillow Plates oder durch innenliegende Rohrschlangen geführt wird, wobei die Wärme an die Wandung und weiter an die im Behälter befindlichen Stoffe abgegeben wird. Die Form der Behälter ist dabei im wesentlichen beliebig, wobei allerdings für die beispielsweise erwähnten chemischen Reaktoren meist eine zylindrische Form gewählt wird. Dabei schließen an eine Wandung in Form einer zylindrischen Mantelfläche zu beiden Seiten Böden mit unterschiedlichen Formen an. Es können Flachböden, Kegelböden oder auch gewölbte Böden, wie beispielsweise in Klöpperform, Korbbogenform oder Kugelform vorgesehen sein. Die letztgenannten Bodenformen kommen bevorzugt bei unter Druck stehenden Behältern zum Einsatz.

Im Wesentlichen wird auf die vorher genannten Heiz- und Kühlarten genauer eingegangen:

- Rohrschlangen
- Halbrohrschlangen
- Pillow Plates
- Doppelmantel
- Sternförmige Bodenheizung



## 2.1 Rohrschlangen

### 2.1.1 Grundlagen<sup>1</sup>

Eine Rohrschlange ist ein gewundenes Rohr und eignet sich vorwiegend für die Wärmeübertragung zwischen verschiedenen Flüssigkeiten und Gasen mit oder ohne Phasenänderung. Mit Rohrschlangen werden ausgezeichnete Ergebnisse bei Erwärmung, bzw. Kühlung von Flüssigkeiten und Gasen mittels Wasser, Öl und anderen Medien erreicht. Rohrschlangen bieten eine große flexible Verwendung für verschiedene Industriezweige:<sup>1</sup>

- Chemische Industrie
- Petrochemische Industrie
- Lebensmittelindustrie
- Verfahrenstechnik

#### 2.1.1.1 *Außenliegende Rohschlangen*<sup>2</sup>

Verfahrenstechnische Apparate wie Rührkessel, Reaktionsbehälter, Braupfannen oder Autoklaven werden häufig mit außen aufgeschweißten Rohrschlangen versehen. Die folgende Abbildung zeigt den Querschnitt durch die Wand dreier typischer Rührkesselkonstruktionen. Gegenüber Doppelmantelbehältern erlauben Kesselkonstruktionen mit aufgeschweißten Rohrschlangen geringere Wandstärken. Sie sind damit werkstoffsparender und wirtschaftlicher. Zudem bieten sie den Vorteil eines guten Wärmeübergangs im Inneren der Rohrschlange, selbst bei höherviskosen Heiz- oder Kühlmedien.

<sup>1</sup> Vgl. [http://www.innoweld.at/index\\_88\\_88\\_10\\_290\\_1\\_0\\_.html](http://www.innoweld.at/index_88_88_10_290_1_0_.html)

<sup>2</sup> Vgl. [http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-19981-3\\_97](http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-19981-3_97)

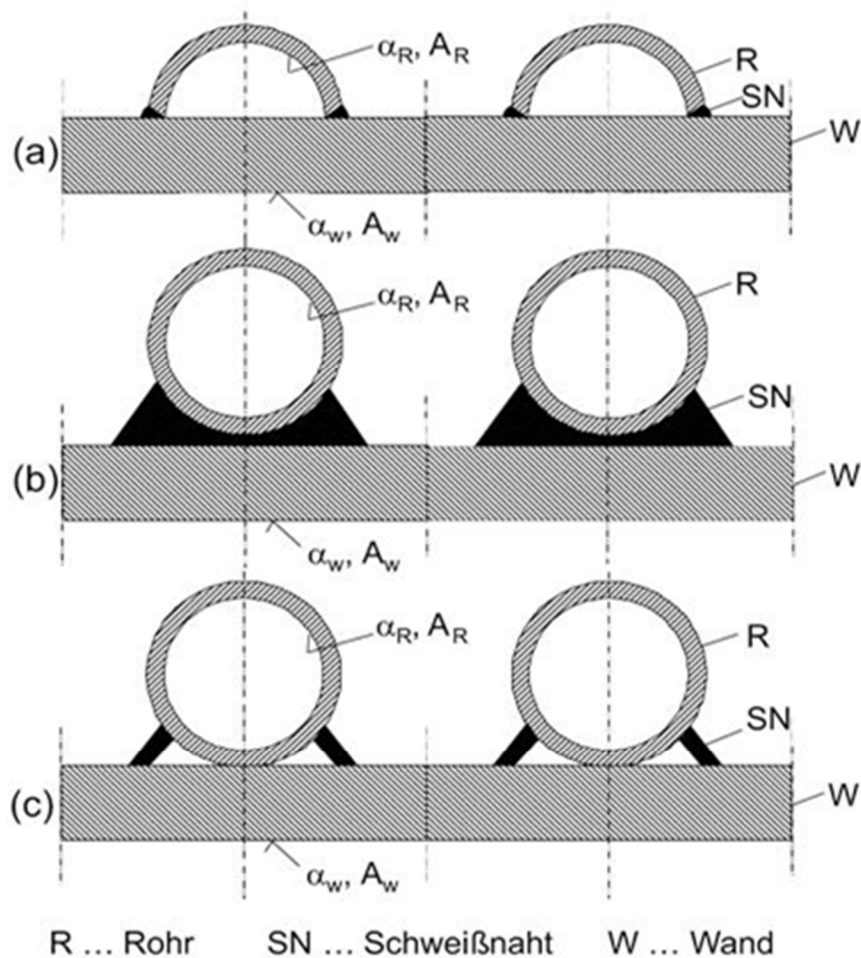


Abb. 1

Querschnitt durch Behälterwände mit außen liegenden Rohrschlangen, a ... aufgeschweißtes Halbrohr, b ... aufgeschweißtes Vollrohr mit Zwischenlage, c ... aufgeschweißtes Vollrohr

**Abbildung 1: Querschnitt durch Behälterwände mit außen liegender Rohrschlange<sup>2</sup>**

### 2.1.1.2 Innenliegende Rohrschlange

Um noch schnellere Aufheiz- bzw. Abkühlzeiten zu erreichen werden auch Rohrschlangen direkt in Behälter eingebaut. Bei dieser Variante ist der Wärmeübergang noch besser, da die Wärme nicht durch die Behälterwand übertragen werden muss.

Die Ein- und Austrittsstutzen der Rohrschlange werden durch die Behälterwand bzw. durch den Behälterboden geführt. Zusätzlich werden die Rohrschlangen mit sogenannten Kämmen in Position gehalten und mit diesen an der Behälterwand fixiert.

<sup>2</sup> Vgl. [http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-19981-3\\_97](http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-19981-3_97)



**Abbildung 2: Rohrschlängensystem für Einbau in Reaktor<sup>3</sup>**

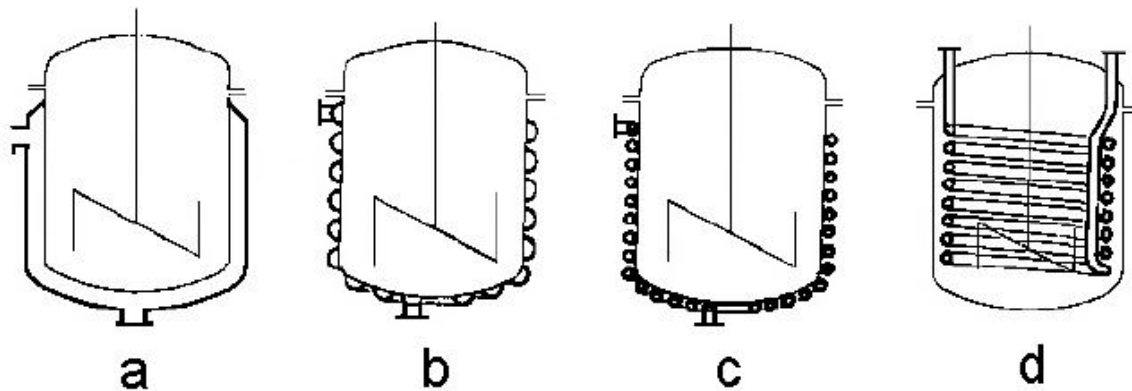


**Abbildung 3: Rohrschlange mit Kämmen zur Positionierung und Fixierung<sup>4</sup>**

<sup>3</sup> Vgl. <http://www.tube-tec.de/de/produkte/rohrschlangensysteme>

<sup>4</sup> Vgl. [http://www.innoweld.at/index\\_88\\_88\\_18-37\\_333\\_1\\_0\\_.html](http://www.innoweld.at/index_88_88_18-37_333_1_0_.html)

**Richtwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten bei indirekter Wärmeübertragung in Rührbehältern:**



**Abbildung 4: Rührbehälter mit Wärmeübertragungsvorrichtungen<sup>5</sup>**

a Doppelmantel, b aufgeschweißtes Halbrohr, c aufgeschweißtes Vollrohr, d Innenschlange

Anordnung des Wärmeträgerfluids im Rührkessel	Wärmedurchgangskoeffizient $k_w \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
<b>Außenmantel</b>	
Flüssigkeit / Flüssigkeit	150 bis 350
Dampf / Flüssigkeit	500 bis 1500
Dampf / siedende Flüssigkeit	700 bis 1700
<b>Aufgeschweißtes Halb- oder Vollrohr</b>	
Flüssigkeit / Flüssigkeit	350 bis 900
Dampf / Flüssigkeit	500 bis 1700
Dampf / siedende Flüssigkeit	700 bis 2300
<b>Innenschlange</b>	
Flüssigkeit / Flüssigkeit	500 bis 1200
Dampf / Flüssigkeit	700 bis 2500
Dampf / siedende Flüssigkeit	1200 bis 3500

**Abbildung 5: Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_w$  in Rührkesselreaktoren<sup>5</sup>**

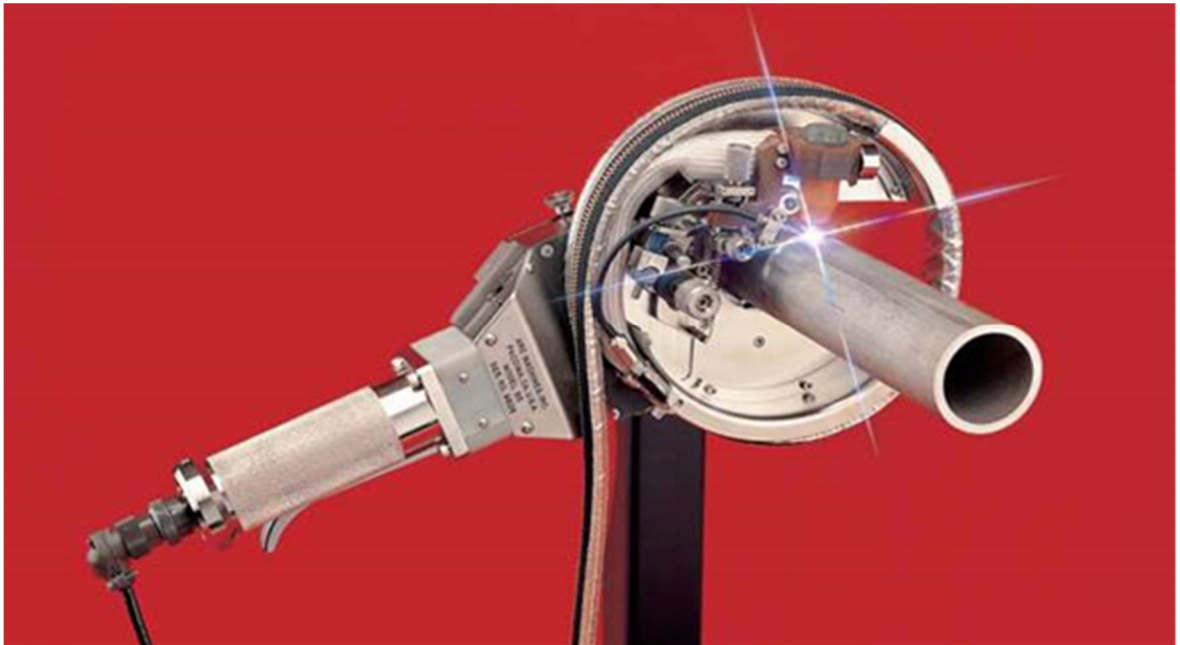
## 2.1.2 Herstellung

Der Weg zur hochwertig gebogenen zylindrischen Rohrschlange beginnt mit nahtlosen oder geschweißten Rohren, vorwiegend aus austenitischen oder hochlegierten Stählen. Diese Rohre werden orbital bzw. mit Hand verschweißt, je nach Anforderung werden diese Schweißnähte durch Röntgen und oder Farbeindringprü-

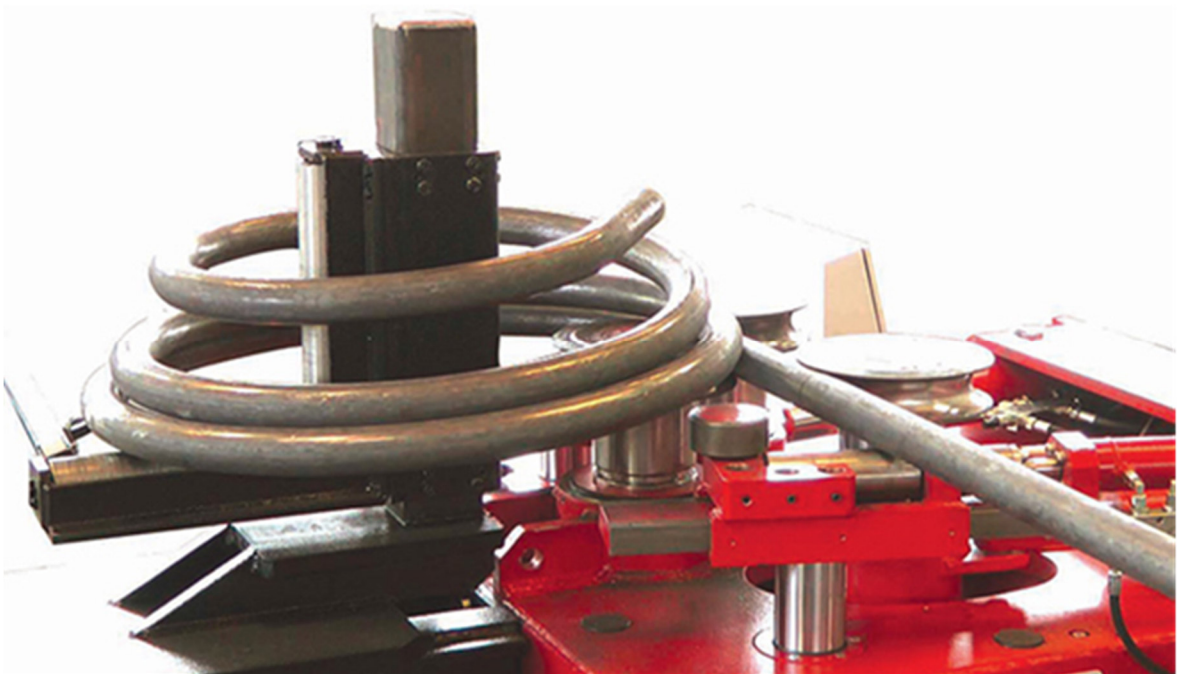
<sup>5</sup> Vgl. [https://www.uni-due.de/tchem/as/skripte/TC%20II%20Kap\\_4.pdf](https://www.uni-due.de/tchem/as/skripte/TC%20II%20Kap_4.pdf)



fung geprüft. Anschließend werden die verschweißten Rohre mit einer Profilbiegemaschine auf den jeweiligen Durchmesser mit der geforderten Steigung eingewalzt. Vor dem Rollvorgang muss die Nahtüberhöhung der Schweißnähte verschliffen werden, da ansonsten Probleme mit dem Profilwerkzeug auftreten.



**Abbildung 6: Rohr mit Rohr Schweißung mittels Orbitalverfahren<sup>6</sup>**



**Abbildung 7: Profilbiegemaschine zum Rollen von Rohrschlangen<sup>7</sup>**

<sup>6</sup> [http://www.schweisstechnik.at/detail/unschweisbares-schweißen\\_74112](http://www.schweisstechnik.at/detail/unschweisbares-schweißen_74112)

<sup>7</sup> [http://www.davi.com/de/de/Profilbiegemaschinen\\_MCP](http://www.davi.com/de/de/Profilbiegemaschinen_MCP)

## 2.2 Halbrohrschlangen

### 2.2.1 Grundlagen

Halbrohre finden in der Industrie und im Behälter- und Apparatebau Verwendung und dienen in der Regel der Kühlung oder der Erwärmung bzw. Erhitzung. Diese werden in den verschiedensten Ausführungen, von geraden Halbrohren über zylindrische bis hin zu konischen Ausführungen gefertigt. In Verbindung mit Spezialbehältnissen entstehen so komplette Komponenten für die unterschiedlichsten Bereiche. Halbrohrkomponenten werden mit modernsten Technologien gefertigt.

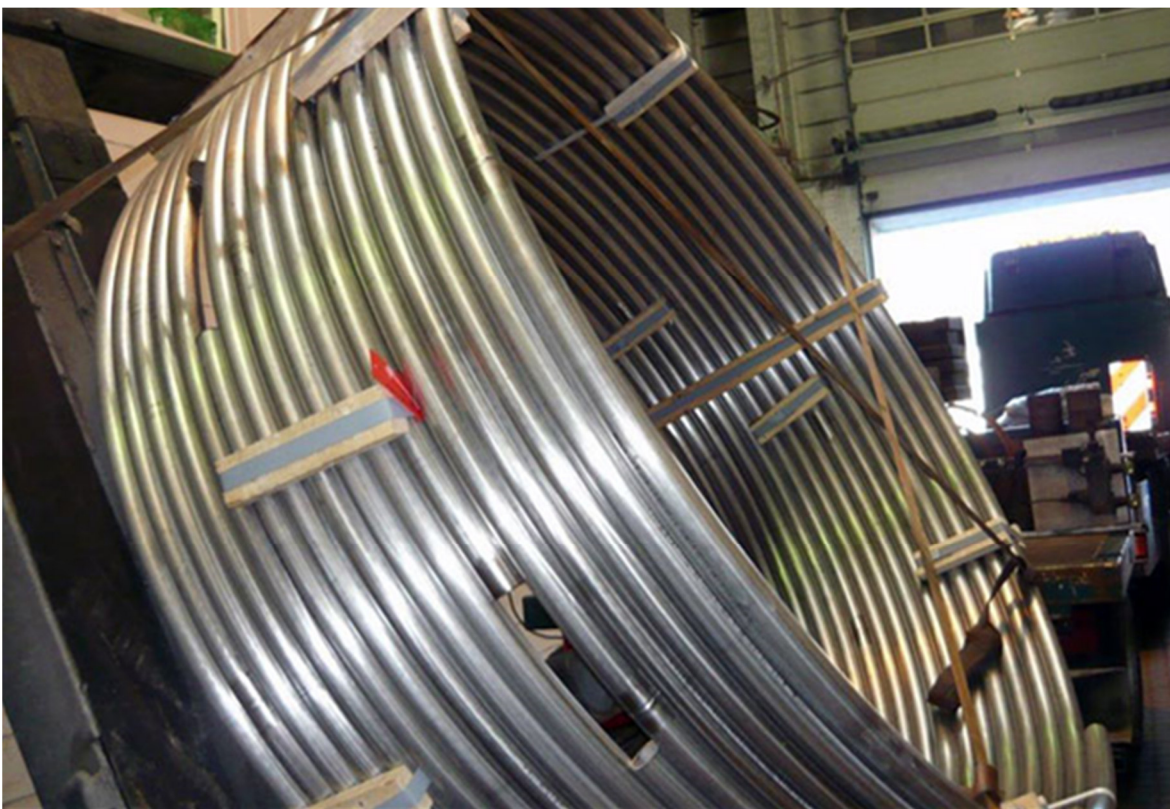


Abbildung 8: Zylindrische Halbrohrschlange<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Vgl. <http://www.dynaflex.ch/54-0-Halbrohrschlangen-Theis.html>





**Abbildung 9: Halbrohrschlange auf konischem Boden<sup>8</sup>**



**Abbildung 10: Halbrohrschlange auf Kugelboden<sup>9</sup>**

<sup>8</sup> Vgl. <http://www.dynaflex.ch/54-0-Halbrohrschlangen-Theis.html>

<sup>9</sup> Vgl. <http://www.best-baumann.de/>

### 2.2.2 Herstellung

Der Weg zur hochwertigen zylindrischen Halbrohrschlange beginnt mit einem flachen Metallband. Das Band wird mit Hilfe von mehrerer Rollen und Walzen in Form gebracht. Anschließend wird das geformte Halbrohr mittels einer Profilbiegemaschine eingerollt und mit einer geforderten Steigung versehen. Um die Halbrohrschlange spaltfrei aufschweißen zu können wird je nach Schweißverfahren noch eine Schweißfase bzw. Freistellung an der Halbrohrschlange gefertigt.

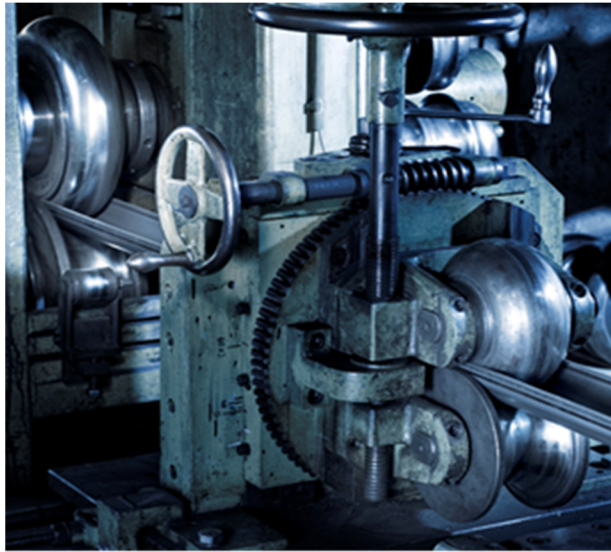


Abbildung 11: Formen eines Halbrohres<sup>10</sup>



Abbildung 12: Einrollen einer zylindrischen Halbrohrschlange<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Vgl. <http://www.theis-tubes.com/produkte-theiss/halbrohre-theiss/>



## **2.2.3 Schweißen von Halbroherschlangen<sup>11</sup>**

### **2.2.3.1 Grundlagen**

Die Halbroherschlangen werden auf die Behälterwandung durch Schweißen aufgebracht, die von einem Wärmeübertragungsmedium kontinuierlich durchströmt werden. Wenn es die Temperaturbedingungen erlauben, wird gerne mit Wasser gearbeitet, da es in vielen Regionen preiswert zur Verfügung steht und hervorragende Wärmeübertragungseigenschaften besitzt. Allerdings ist es aufgrund seiner Herkunft mit suspendierten oder gelösten Stoffen angereichert, die sich ungünstig auf einen langfristigen Wärmeaustausch auswirken können oder zu Korrosionerscheinungen an metallischen Oberflächen führen.

Korrosionskritische Konstruktionen, wie Spalte und Fugen, sind bei der Auslegung und Fertigung zu vermeiden und zu optimieren. Auch haben sich in den letzten Jahren verstärkt dampfförmige Wärmeübertragungsmedien durchgesetzt. Aus diesen Gründen müssen die auf den Behälter aufzubringenden Halbroherschlangen spalt und kerb frei verschweißt werden.

Für die klassische Dichtschweißung (Kehlnaht ohne Durchschweißung) hat sich das Metallschutzgas Schweißen als wirtschaftliches und industrietaugliches Verfahren bewährt. Sobald aber die Forderung nach einem spaltfreien Verschweißen gestellt wird, treten die Grenzen des Verfahrens an den Tag. Auch die Impulstechnik und der Einsatz von Fülldrähten haben sich in der Praxis nicht bewährt.

Als einzige Alternative bot sich in der Vergangenheit das manuelle Schweißen der Wurzel nach dem WIG-Verfahren (Wolfram Inert Gas) an. Aufgrund der geringen erzielbaren Abschmelzleistung und der Notwendigkeit eines definierten Wurzelspaltes ist die Fertigung jedoch zeit- und kostenintensiv.

<sup>11</sup> Vgl. <http://www.polysoude.com/images/stories/documents/german/Halbroherschlangen.pdf>

### 2.2.3.2 WIG Heißdrahtverfahren zum Schweißen von Halbrohrschlangen<sup>11</sup>

Als Schweißverfahren bietet sich das WIG-Heißdraht-Schweißen an, bei der einen weitestgehend unabhängigen Steuerung von Energieeintrag und Zufuhr des drahtförmigen Zusatzwerkstoffes möglich ist. Mit Anwendung der Heißdrahttechnik kommt diese Flexibilität auch für den Bereich von größeren Abschmelzleistungen zum Tragen.

Durch den Einsatz des WIG-Heißdrahtverfahrens können die Halbrohrschlangen ohne zusätzliche Nahtvorbereitung direkt auf den Behältermantel aufgeschweißt werden. Die Halbrohrschlangen werden vor dem Schweißen weitestgehend spaltfrei auf den Behälterschuss aufgezogen und durch Heftschiessen nach dem WIG-Verfahren fixiert. Bei einer Halbrohrschlangen-Wandstärke von 3 mm kann ein partieller Luftspalt von maximal 0,8 mm kompensiert werden, wenn dieser nicht am Beginn der Schweißnaht liegt. Ab einer Wandstärke von 2,5 mm werden die Halbrohrschlangen üblicherweise mit einer Anfasung (Wandstärkenreduzierung) im Schweißnahtbereich versehen.

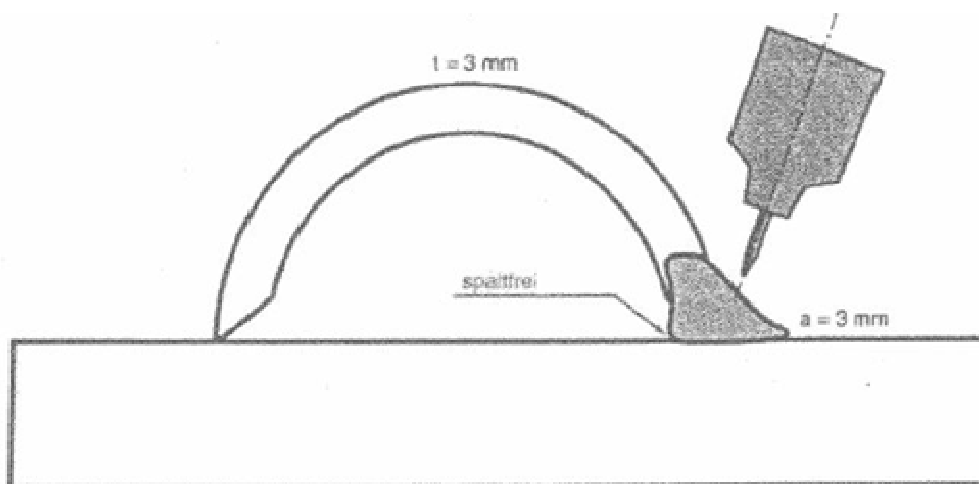


Abbildung 13: Schweißung spaltfrei<sup>11</sup>

Für eine kerb- und spaltfreie Wurzel Ausbildung ist ein Formier-Gasschutz unumgänglich. Um unnötige Gasverluste zu vermeiden, sollten der Bereich des Schweißstoßes auf der gesamten Länge abgedeckt werden. Je nach gewünschtem  $a$ -Maß und unter Berücksichtigung der gültigen Abnahmevorschriften kann sich das Schweißen einer Decklage erforderlich machen.

<sup>11</sup> Vgl. <http://www.polysoude.com/images/stories/documents/german/Halbrohrschlangen.pdf>

### **2.2.3.3 Multiprozessfähige Technologie beim Schweißen von Halbrohrschlangen<sup>11</sup>**

PC-gesteuerte Multifunktionsanlagen der PC-Serie erlauben neben der Wahl des optimalen Schweißverfahrens auch eine hochpräzise Steuerung und Überwachung des Schweißprozesses. In Verbindung mit standardisierten Peripheriegeräten stellen PC Stromquellen ein integrales und modulares System zur Lösung von mechanisierten Schweißaufgaben dar. Das heißt, dass Schweißparameter und Bewegungseinheiten in einem Schweißprogramm zueinander in Beziehung gesetzt und von der Stromquelle gesteuert werden. Der modulare Aufbau ermöglicht es, die Stromquelle exakt entsprechend der konkreten Aufgabenstellung zu konfigurieren. Jede für die konkrete Schweißaufgabe notwendige Funktion wie z.B. Drahtvorschub, Gassteuerung, Lichtbogenhöhensteuerung oder Brennerpendelung wird als Modul in die Stromquellensteuerung integriert. Über einen Multi-Achsen-Einschub können Mechanisierungskomponenten wie Automatenträger, Rollenbockanlagen, Drehtische, usw. direkt angesteuert und deren Bewegungen synchronisiert werden.

Für ein unterbrechungsfreies Schweißen der Halbrohrschlangen wird die Bewegung des Drehtisches bzw. der Rollenbockanlage mit der Bewegung des Automatenträgers synchronisiert. Je nach Behälterabmessung und Typ des eingesetzten Automatenträgers ergeben sich folgende Konfigurationen:

<sup>11</sup> Vgl. <http://www.polysoude.com/images/stories/documents/german/Halbrohrschlangen.pdf>

### Variante 1:

Der Automatenträger wird mit seinem Bodenfahwerk kontinuierlich verfahren.

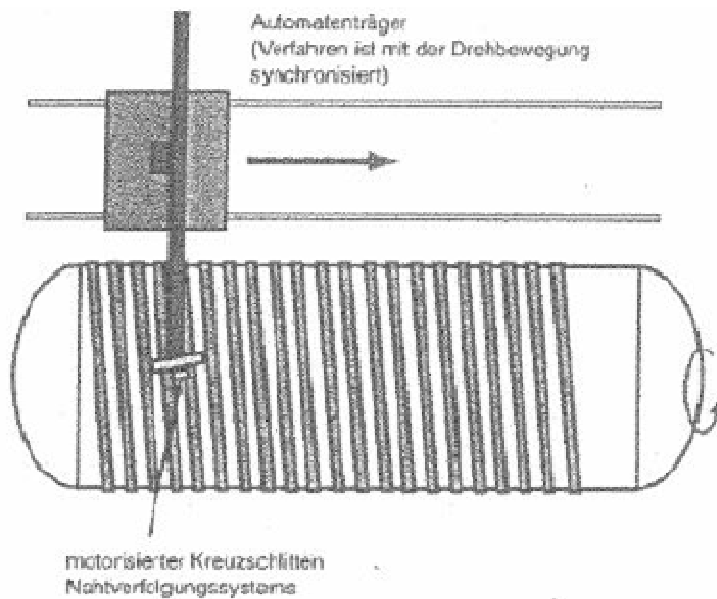


Abbildung 14: Automatenträger mit Bodenfahwerk<sup>11</sup>

### Variante 2:

Der Ausleger des Automatenträgers wird synchron zur Drehbewegung verfahren.

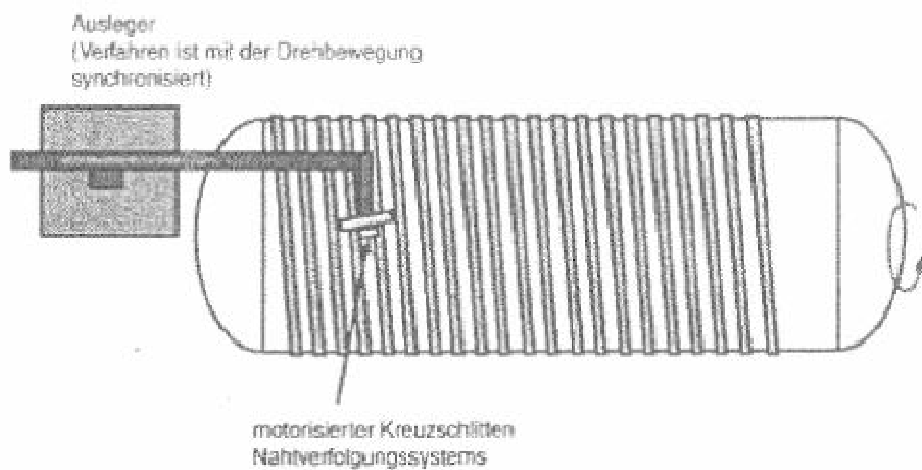


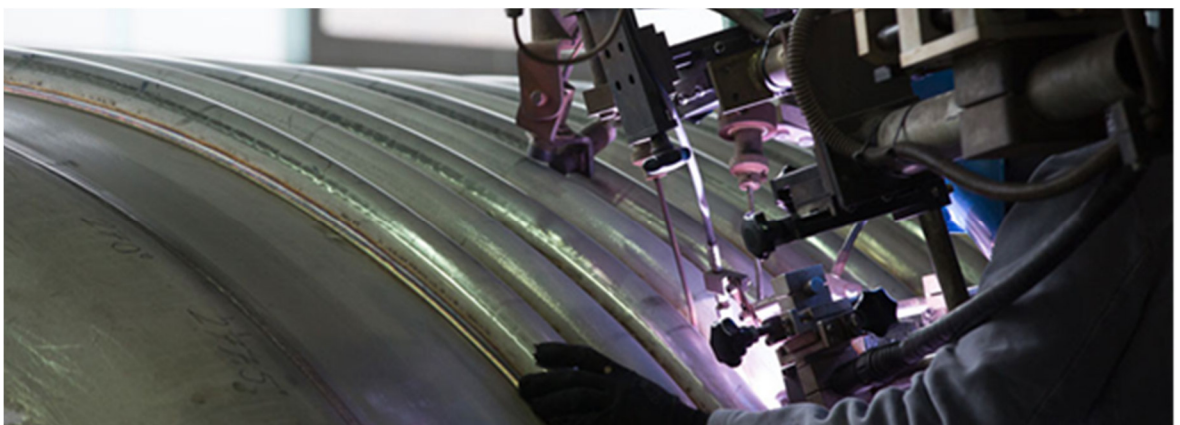
Abbildung 15: Automatenträger mit Ausleger<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Vgl. <http://www.polysoude.com/images/stories/documents/german/Halbrohrschlangen.pdf>

Ein am Ausleger des Automatenträgers montiertes Schweißnahtverfolgungssystem mit taktilem Sensor und Schlitten-Support dient der Positionierung des WIG-Brenners in Bezug zur Halbrohrschlange. Das System wird unabhängig von der Steuerung des PC-Schweißautomaten betrieben und zeichnet sich durch eine robuste Bauweise aus.



**Abbildung 16: Schweißnahtverfolgungssystem Variante 1** <sup>12</sup>



**Abbildung 17: Schweißnahtverfolgungssystem Variante 2** <sup>13</sup>

<sup>12</sup> Vgl. <http://www.hinke.com/unternehmen/maschinenpark/>

<sup>13</sup> Vgl. <http://www.glattistgutgmbh.de/leistungen/>

## 2.3 Pillow Plates

### 2.3.1 Grundlagen<sup>14</sup>

Pillow Plates bestehen aus zwei Edelstahlblechen, die durch Laser- oder Punktschweißen miteinander verbunden werden. Das Schweißmuster besteht aus Kreisen, Längs- und Randnähten. Raster der Schweißkreise und Materialdicke bestimmen den zulässigen Betriebsdruck. In der Regel lassen sich Platten mit einer Breite bis zwei Meter und einer Länge bis 12 Meter herstellen. Die Blechstärke der Oberplatte liegt zwischen 0,8 und 2,5 mm. Durch diese Verarbeitung können auch relativ komplizierte Formen hergestellt werden.

#### Übersicht der Pillow Plate Material Verhältnisse:<sup>14</sup>

- Oberplatte 0,8 mm → 2,0 mm Grundplatte
- Oberplatte 1,0 mm → 2,5 mm Grundplatte
- Oberplatte 1,2 mm → 4,0 – 15,0 mm Grundplatte
- Oberplatte 1,5 mm → 4,0 – 15,0 mm Grundplatte
- Oberplatte 2,0 mm → 5,0 – 15,0 mm Grundplatte

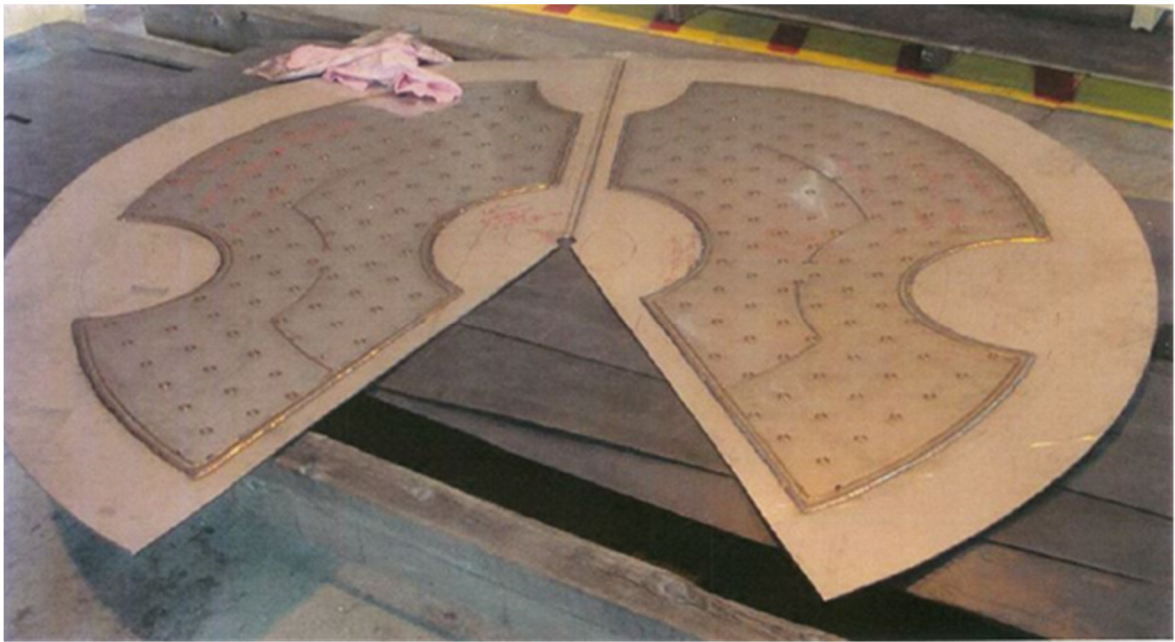


Abbildung 18: Lasergeschweißtes Blech<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Vgl. <https://pillowplate-waermetauscher.com/2016/06/28/was-sind-pillow-plates/>

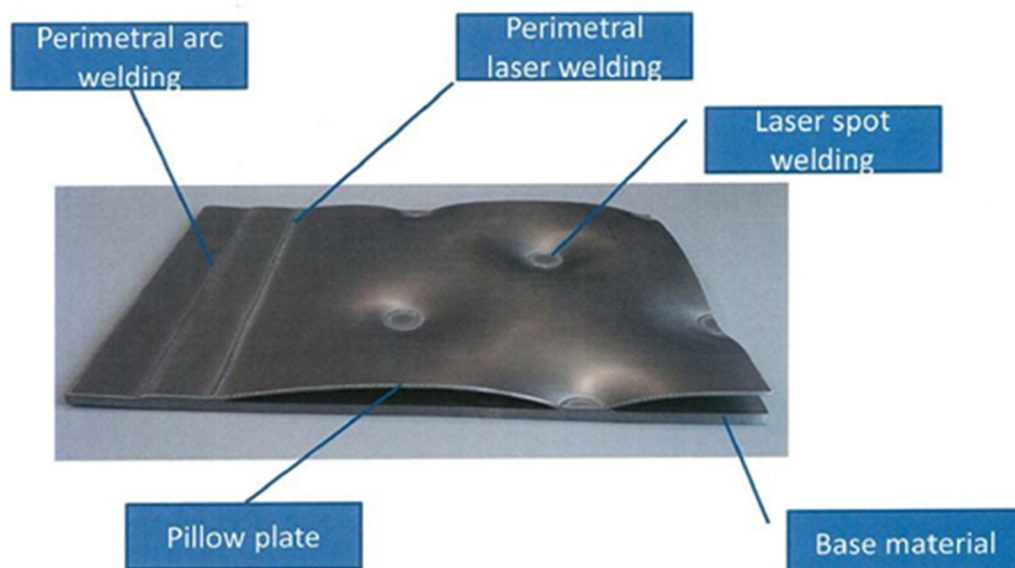
<sup>15</sup> Vgl. <http://www.kpwtcc.com/wp-content/uploads/2016/04/04-Cital-dimple-plates.pdf>





**Abbildung 19: Lasergeschweißtes Blech (Konusboden)<sup>15</sup>**

Nach dem Aufschweißen und der Weiterverarbeitung werden die Bleche aufgeblasen, wobei das dünnere Blech (Oberplatte) deformiert wird und das dickere Blech (Grundplatte) nicht deformiert wird. Diese Bleche werden auch Kissenplatten oder Einseitige Doppelmantel genannt.



**Abbildung 20: Lasergeschweißtes Blech nach dem Aufblasen<sup>15</sup>**

<sup>15</sup> Vgl. <http://www.kpwtcc.com/wp-content/uploads/2016/04/04-Cital-dimple-plates.pdf>

## **Vorteile von Pillow Plates:<sup>14</sup>**

- Saubere und glatte Oberflächen – zum Beispiel an Behältern für die Lebensmittel-, Getränke- und Pharmaindustrie.
- Einfache Handhabung → Für Fachfirmen ist die Verarbeitung problemlos.
- Für Anwendungen in der Verfahrenstechnik und im Apparatebau sind Pillow Plates für sehr hohe Betriebsdrücke und Temperaturen geeignet.
- Sie sparen Zeit und Geld bei der Herstellung von Heiz- und Kühltanks. Dadurch verschaffen Sie sich einen Wettbewerbsvorteil. Produzieren Wärmetauscher aus Pillow Plates. Es gibt unzählige Anwendungsmöglichkeiten, zum Beispiel zur Wärmerückgewinnung mit Flusswasser, Abwasser oder Abgas
- Große Wärmetauscherfläche bei kleinem Volumen bedeuten geringe Füllmengen. Verwendung von Pillow Plate Tauchkühler und Eisspeicher in der Kälte- und Klimatechnik
- In jeder Branche gibt es Anwendungsfälle für Pillow Plates

## **2.3.2 Herstellung<sup>16</sup>**

### **2.3.2.1 Walzen von Pillow Plates**

- Vor dem Walzen soll das aufgeschweißte Blech mit einer dünnen Schutzfolie beschichtet werden.
- Bei großen Aussparungen (z.B. Mannlöcher oder Fußplatten) sollen die Ausschnitte vom Oberblech wieder eingeklebt werden, damit die Schweißnähte während dem Rollen nicht beschädigt werden.
- Ist das Oberblech kleiner 80% vom unter Blech soll ein Blechstreifen (Oberblechdicke) in der vollen Länge auf das Unterblech geklebt werden, damit die Schweißnähte während dem Rollen nicht beschädigt werden.
- Beim Walzen von konischen Böden sollen konische Walzen verwendet werden.

<sup>14</sup> Vgl. <https://pillowplate-waermetauscher.com/2016/06/28/was-sind-pillow-plates/>

<sup>16</sup> Vgl. Verarbeitungsvorschriften Fa. Omega, 7547 TL Enschede, Niederlande



### 2.3.2.2 Kanten von Pillow Plates

- Die geschweißten Bleche dürfen maximal 60° gekantet werden, ansonsten würde das zu irreparablen Schäden in der Schweißnaht führen. Des Weiteren ist in diesem Bereich keine Kissenhöhe zu erreichen.
- Bei gekanteten Teilen muss bei der Gestaltung der Bleche genügend Platz vorgesehen werden. Der Abstand zwischen den Oberblechen muss so groß sein, damit die Oberbleche beim Kanten nicht verformt werden.

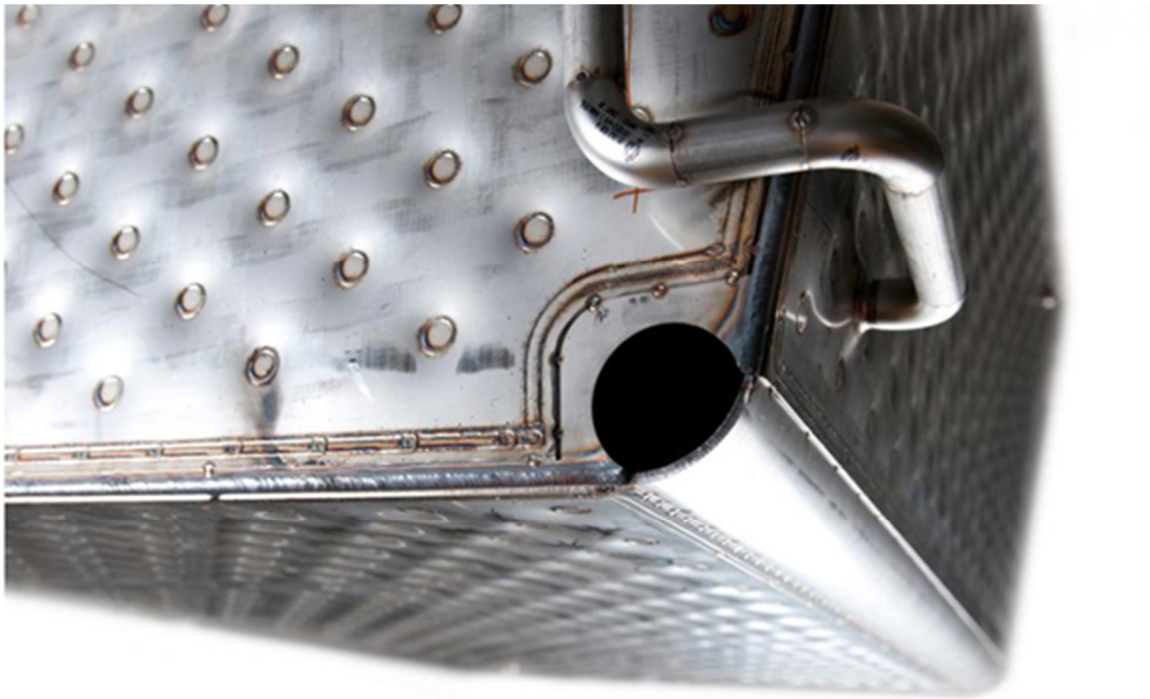


Abbildung 21: Pillow Plates gekantet<sup>17</sup>

### 2.3.2.3 Montieren von Anschlüssen auf Pillow Plates

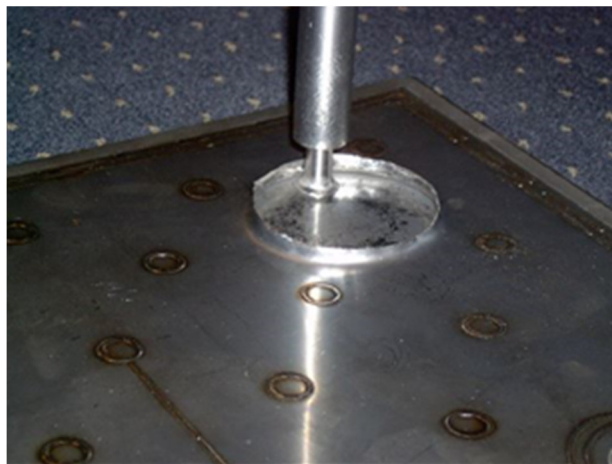
- Die Anzahl und Größe der Anschlüsse (Ein- und Austritt) sollen so gewählt werden, dass die Menge des Heiz- bzw. Kühlmediums verarbeitet werden kann.
- Die Anschlüsse sollen zwischen den Laserspots montiert werden, um eine gute Versorgung und Entlastung des Mediums in den Pillow Plates zu gewährleisten.

<sup>17</sup> Vgl. <http://www.mosman.nl/products/product/pillow-plates-1>

- Für einseitig profilierte Pillow Plates soll man Schweißkronen verwenden, die an der Oberplatte und Grundplatte ausreichen angeschweißt werden. Nur auf diese Weise wird eine Rissbildung zwischen Oberplatte und Verbindungsrohr (Schweißkrone) verhindert.
- In allen Verbindungsleitungen müssen Kompensatoren verwendet werden, um eine Überbelastung zwischen Oberplatte und Verbindungsrohr (Schweißkrone) zu verhindern.
- Die Verbindungsrohre und Schweißkronen sollen mit dem WIG-Verfahren (Wolfram Inert Gas) verschweißt werden, um Schweißfehler und Korrosion (zu einem späteren Zeitpunkt) zu verhindern.

#### **2.3.2.4 Verwenden von Schweißkronen**

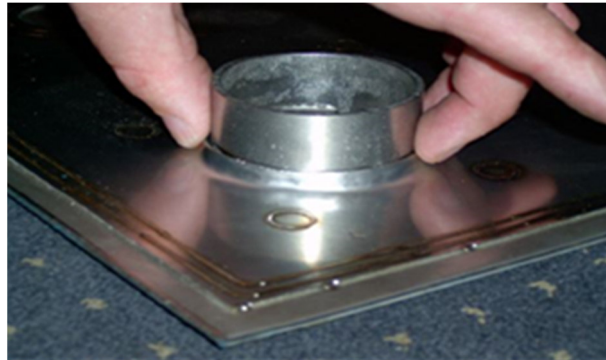
- Fertigung einer Öffnung zwischen Oberplatte und Grundplatte mit einem geeigneten Werkzeug, wobei ein ausreichender Abstand zu den Laserschweißungen eingehalten werden muss.



**Abbildung 22: Öffnung zwischen Oberplatte und Grundplatte<sup>18</sup>**

<sup>18</sup> Vgl. Verarbeitungsvorschriften Fa. Omega, 7547 TL Enschede, Niederlande

- Die Kante des Oberbleches soweit erhöhen, dass die Schweißkrone in die Öffnung gesteckt werden kann.

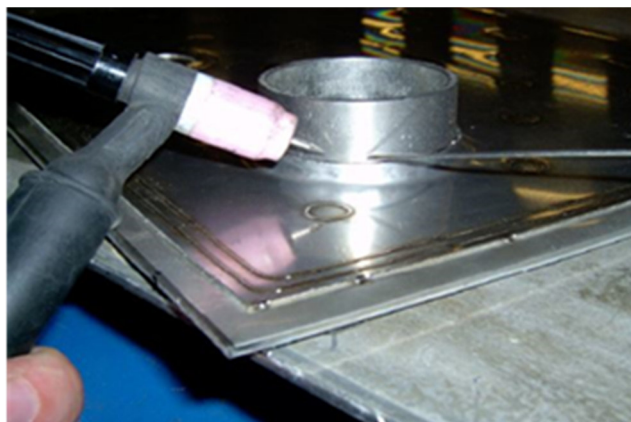


**Abbildung 23: Schweißkrone eingesteckt<sup>19</sup>**

- Die Schutzfolien von Oberplatte und Grundplatte entfernen und zuerst die Schweißkrone mit der Grundplatte verschweißen. Danach die umlaufende Schweißnaht zwischen Oberplatte und Krone schweißen.



**Abbildung 24: Schweißkrone mit Grundplatte verschweißen<sup>19</sup>**



**Abbildung 25: Oberplatte mit Schweißkrone verschweißen<sup>19</sup>**

<sup>19</sup> Vgl. Verarbeitungsvorschriften Fa. Omega, 7547 TL Enschede, Niederlande

### 2.3.2.5 Aufweitung von Pillow Plates

- Nach der Montage der Anschlüsse müssen die Schweißnähte auf Leckagen überprüft werden. Vorhandene Leckagen reparieren.
- Dann die Oberplatte mittels Wasser auf die gewünschte Kissenhöhe aufweiten. Hierbei ist ein Sicherheitsabstand von mindestens 2 Metern einzuhalten.
- Das Aufweiten mit einem höheren Druck als der angegebene Maximaldruck kann zu irreparablen Schäden führen. Dieser Maximaldruck ist auf den Zeichnungen des Herstellers angegeben. Dieser ist je nach Teilung und Ausführung unterschiedlich und kann nicht verallgemeinert werden.
- Das Aufweiten sollte in kleinen Schritten durchgeführt werden (maximal 10 bar). Nach jedem Schritt soll der Druck vollständig abgelassen werden. Um die richtige Kissenhöhe zu messen müssen die Pillow Plates vollständig entspannt sein. Diesen Schritt bis zur gewünschten Kissenhöhe wiederholen.

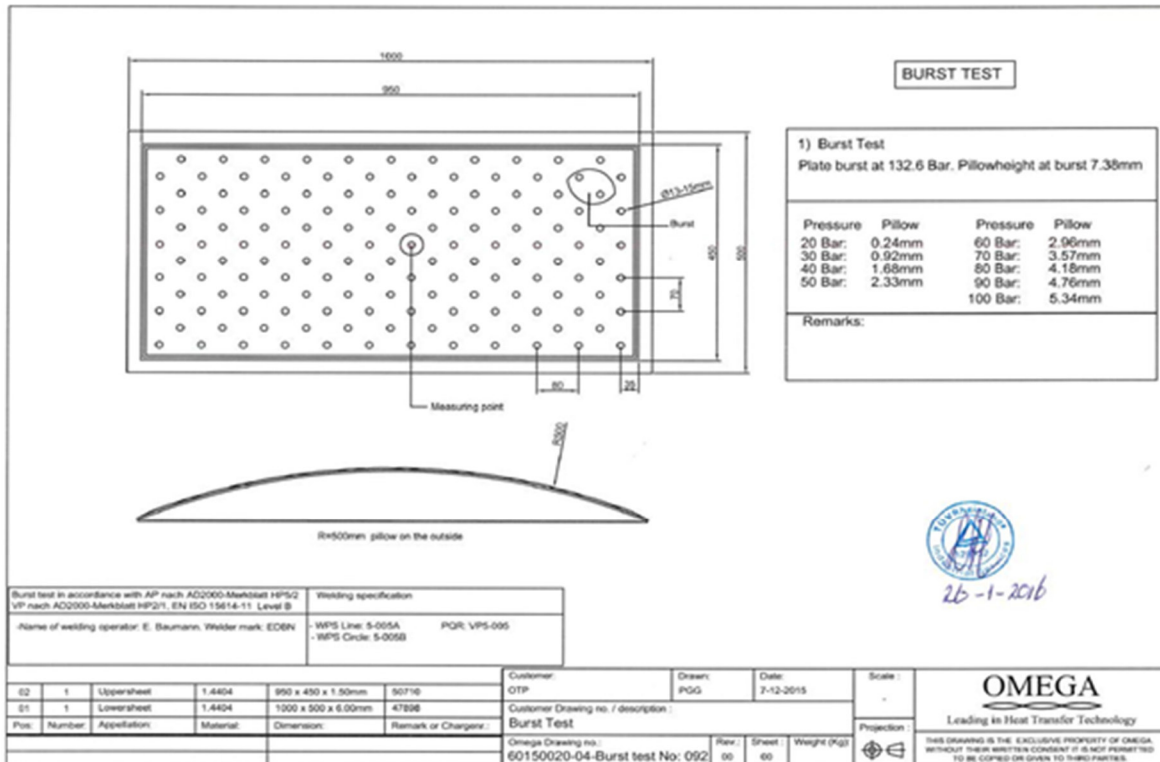


Abbildung 26: Bsp.: Angabe des Aufweitdruckes in Abhängigkeit der Kissenhöhe<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Vgl. Burst Test 092, Fa. Omega, 7547 TL Enschede, Niederlande

## 2.4 Doppelmantel

Als Doppelmantelbehälter bezeichnet man in der Verfahrenstechnik einen Apparat bzw. Rührkessel, der aus einem Behälter besteht, der im zylindrischen und Bodenbereich aus einem weiteren Behälter umhüllt wird. Zwischen den Behältern entsteht der Mantelraum, welcher von einem Heiz- oder Kühlmedium durchströmt werden kann.<sup>21</sup>

Der Vorteil dieser Beheizungsart liegt darin, dass eine maximale Heizfläche mit dieser Ausführung erreicht werden kann.

Der Nachteil dieser Beheizungsart liegt darin, dass bei höheren Drücken im Mantelraum die Wanddicken des Innenbehälters sehr groß werden, da der Innenbehälter bei Außendruck plastisch verformt werden kann, darum wird diese Ausführung eher im Niederdruck Bereich verwendet.

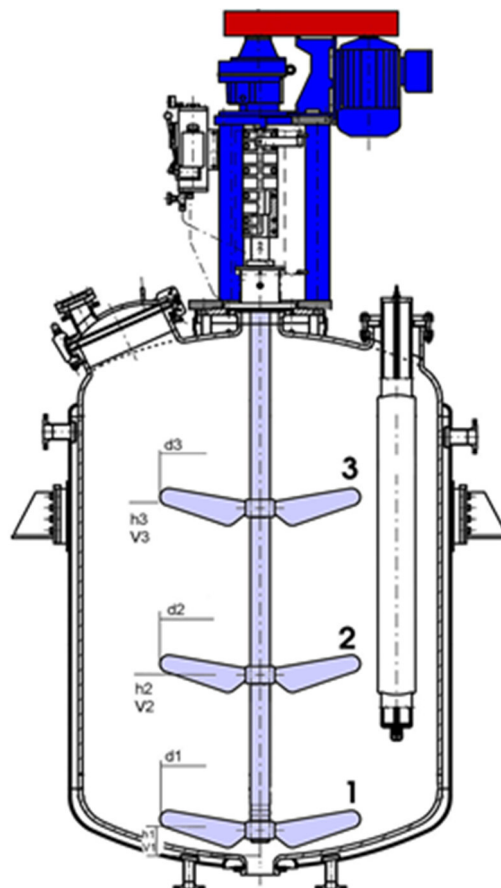


Abbildung 27: Rührwerksbehälter mit Doppelmantel<sup>21</sup>

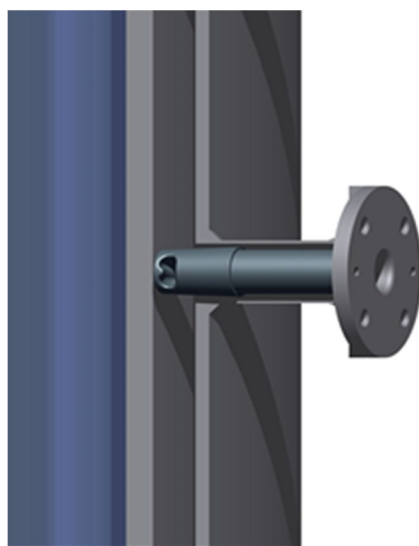
<sup>21</sup> Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelmantelbehälter>

Um eine hohe Strömungsgeschwindigkeit zu gewährleisten, können in den Mantelstutzen Strömungsdüsen bzw. im Mantelraum Leitspiralen vorgesehen werden.

Eine Strömungsdüse ist ein Einbauteil, welches in die Manteleinleitstutzen von Behältern mit Doppelmantel eingebaut wird. Strömungsdüsen sorgen für die Beschleunigung und die Umlenkung des eingeleiteten Flüssigkeitsstroms. Aufgrund der Düsenwirkung wird der Mantelinhalt in eine Rotationsbewegung versetzt. Diese Rotationsströmung sollte eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 1 m/s haben, um einen guten Wärmeübergang und einen hohen  $k_w$ -Wert zwischen dem Service-medium und der Behälterwand zu gewährleisten.<sup>22</sup>



**Abbildung 28: Strömungsdüse<sup>22</sup>**

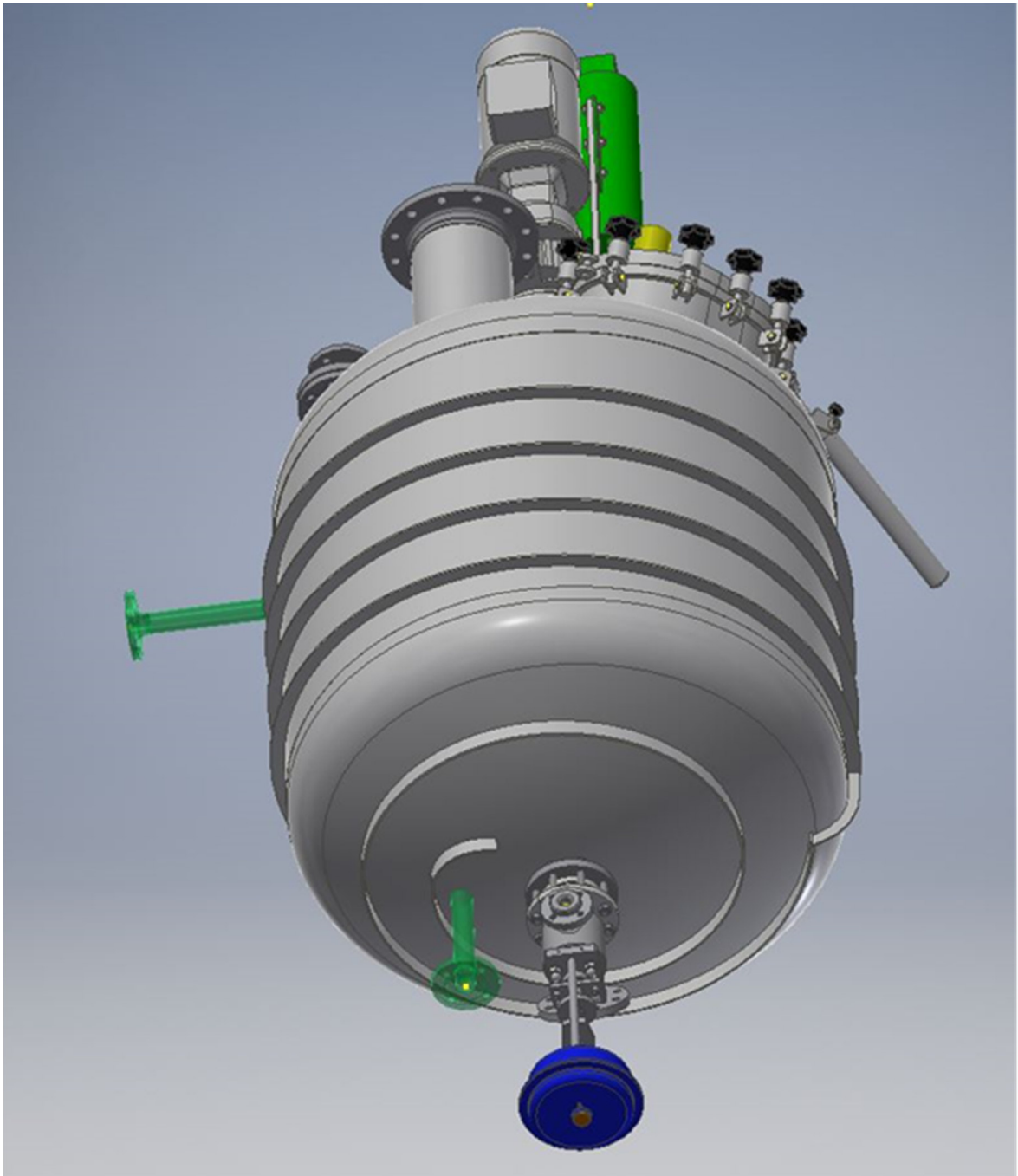


**Abbildung 29: Strömungsdüse im montierten Zustand<sup>22</sup>**

<sup>22</sup> Vgl. <http://www.wikiwand.com/de/Strömungsdüse>



Eine Leitspirale ist ein Einbauteil, welches im Doppelmantel eingebaut wird. Dieses wird aus einem Flach- bzw. Rundstahl spiralförmig eingerollt und auf den Innenbehälter mittels Schrittschweißung aufgeschweißt. Durch diese Rotationsführung eines flüssigen Mediums werden eine turbulenterere Strömung und dadurch ein besserer Wärmeübergang zwischen dem Servicemedium und der Behälterwand erzeugt.



**Abbildung 30: Behälter mit Leitspiralen (Doppelmantel nicht sichtbar)<sup>23</sup>**

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Componenten, 4812 Pinsdorf, Austria

## 2.5 Sternförmige Bodenheizung

### 2.5.1 Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt eine spezielle Ausführung einer Bodenbeheizung eines Behälters, beispielsweise eines chemischen Reaktors, dessen Erwärmung mittels eines entlang der Außenwandung des Behälters einschließlich seines Bodens geführten Fluiden erfolgt.



**Abbildung 31: Behälter mit Halbrohrschlange und sternförmiger Bodenheizung<sup>23</sup>**

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Komponenten, 4812 Pinsdorf, Austria



## 2.5.2 Grundlagen

Während nun die Beheizung der zylindrischen Mantelfläche des Behälters keine Probleme mit sich bringt, ergeben sich bei der Beheizung der Böden die Nachteile, dass sich mit den bisherigen Halbrohrschlangen oder eingerollten Rohrschlangen mit Klammerbefestigung nur kleine Bereiche der Böden beheizen lassen. Überdies ist bei den eingerollten Rohrschlangen durch die nur strichförmige Auflage ein großer Verlust an Wärmeenergie gegeben.

Da mit den genannten Halbrohrschlangen oder Rohrschlangen nicht beliebig kleine Radien verlegt werden können, sind Hindernisse an den Böden, wie beispielsweise Behälterfüße, Rohrstutzen usw., Hindernisse, die ein weiträumiges Umgehen erforderlich machen und daher die eigentlich zu Beheizung zur Verfügung stehende Bodenfläche praktisch gesehen beträchtlich verringern.

Die Aufgabe besteht daher darin, eine Konstruktion für einen beheizbaren Behälter anzugeben, bei welcher die direkt beheizte Bodenfläche im Verhältnis zu den herkömmlichen Varianten wesentlich größer ist und damit eine bessere Ausnutzung des dem Fluid innewohnenden Wärmegehaltes möglich ist. Gleichzeitig soll die Konstruktion einfach, rasch und unter Verwendung möglichst unkomplizierter Bauteile herstellbar sein.

## 2.5.3 Ausführung

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass das Fluid am Behälterboden zwischen diesem Boden und einer davon abstehenden Scheibe geführt ist, wobei am Außenrand der Scheibe entlang ihres Umfanges zwischen dieser und dem Behälterboden ein den Raum für das Fluid begrenzender geschlossener Streifen vorgesehen ist. Dadurch wird das wärmeübertragende Fluid entlang der gesamten, von der Scheibe abgedeckten Fläche in Kontakt mit dem Behälterboden geführt, sodass ein gegenüber den herkömmlichen Konstruktionen wesentlich vergrößerter Bereich für die Wärmeübertragung gegeben ist. Die Scheibe ist für alle der eingangs erwähnten Bodenformen, die standardmäßig hergestellt werden, ebenso standardmäßig und einfach herzustellen, und der geschlossene Streifen zur Begrenzung des Raumes für das Fluid ist gleichfalls ein einfach anzufertigender und

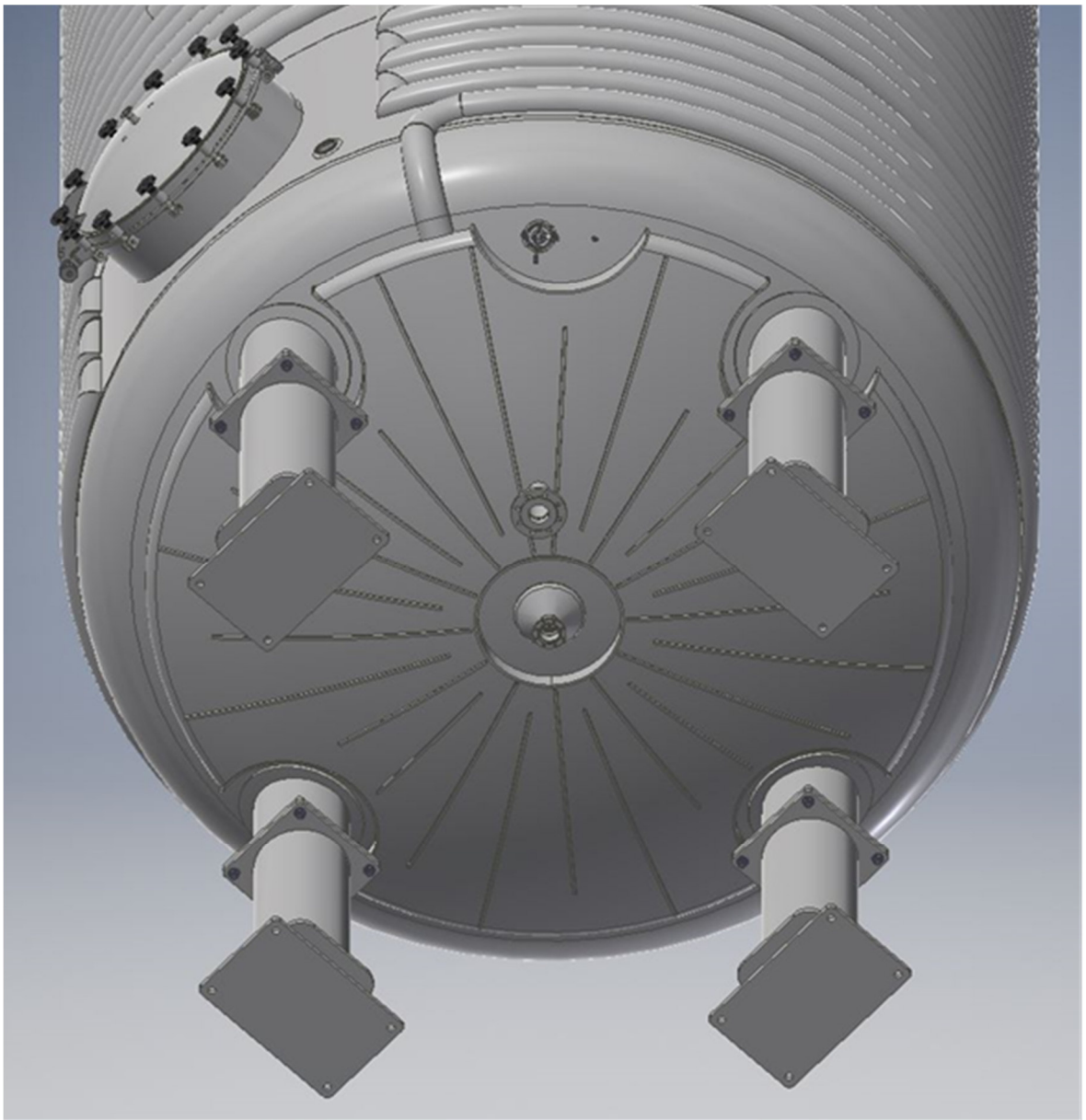
anzubringender Bauteil, sodass eine rasch und ohne großen Aufwand anzufertigende Konstruktion verwirklicht ist.

Ein weiteres Merkmal sind ebene, gerade Streifen als Verbindung zwischen dem Behälterboden und der Scheibe, welche radial verlaufen und wobei alternierend die ebenen Streifen vom Zentrum ausgehen und im Abstand zum umlaufenden Streifen außen enden, oder von diesem letzteren Streifen ausgehen und im Abstand zum Zentrum enden, ein langer radialer Streifen jedoch vom Zentrum bis zum geschlossenen Streifen verläuft. Diese geraden Streifen bilden Zuganker und versteifen sowohl den Boden des Behälters als auch die von dieser abstehende Scheibe. Daher sind auch unter Druck stehende Fluide verwendbar, ohne dass eine Ausbeulung des Behälterbodens oder der Scheibe befürchtet werden muss. Gleichzeitig bilden die radialen Streifen durch die beschriebene Anordnung Zwangsführungen für das Heizfluid, sodass sichergestellt ist, dass tatsächlich die gesamte, von der Scheibe abgedeckte Fläche andauernd mit nachgeliefertem Fluid in Kontakt kommt.

Vorteilhafterweise ist die Anzahl der radialen Streifen ungerade und auf je einer Seite des langen radialen Streifens ist der Einlass bzw. der Auslass für das Fluid angeordnet. Um die Umleitung des wärmeübertragenden Fluides auf den Bereich des zylindrischen Mantels in einfacher Weise zu gestalten, ist gemäß einem weiteren Merkmal vorgesehen, dass der Einlass in der Scheibe näher dem Zentrum, zwischen dem langen Streifen und einem vom geschlossenen äußeren Streifen ausgehenden kurzen Streifen und der Auslass näher dem Außenrand der Scheibe zwischen dem langen Streifen und einem vom Zentrum ausgehenden kurzen Streifen gegebenenfalls nur im geschlossenen Streifen liegt. Beim Übergang von der Bodenheizung zur Beheizung der Mantelfläche muss das Fluid bei dieser Variante nur durch ein kurzes, gebogenes Rohrstück geleitet werden, das am Behälter eng anliegen kann.

Um einerseits die Strömung des Fluides nicht durch zu starke Umlenkung zu behindern und andererseits den zentralen Bereich des Behälters für Zu- oder Ableitungen freizuhalten, ist vorgesehen, dass der Raum für das Fluid gegen das Zentrum hin durch einen geschlossenen Streifen zwischen Behälterboden und Scheibe begrenzt ist, wobei der Innenrand der Scheibe mit dem inneren Streifen abschließt.

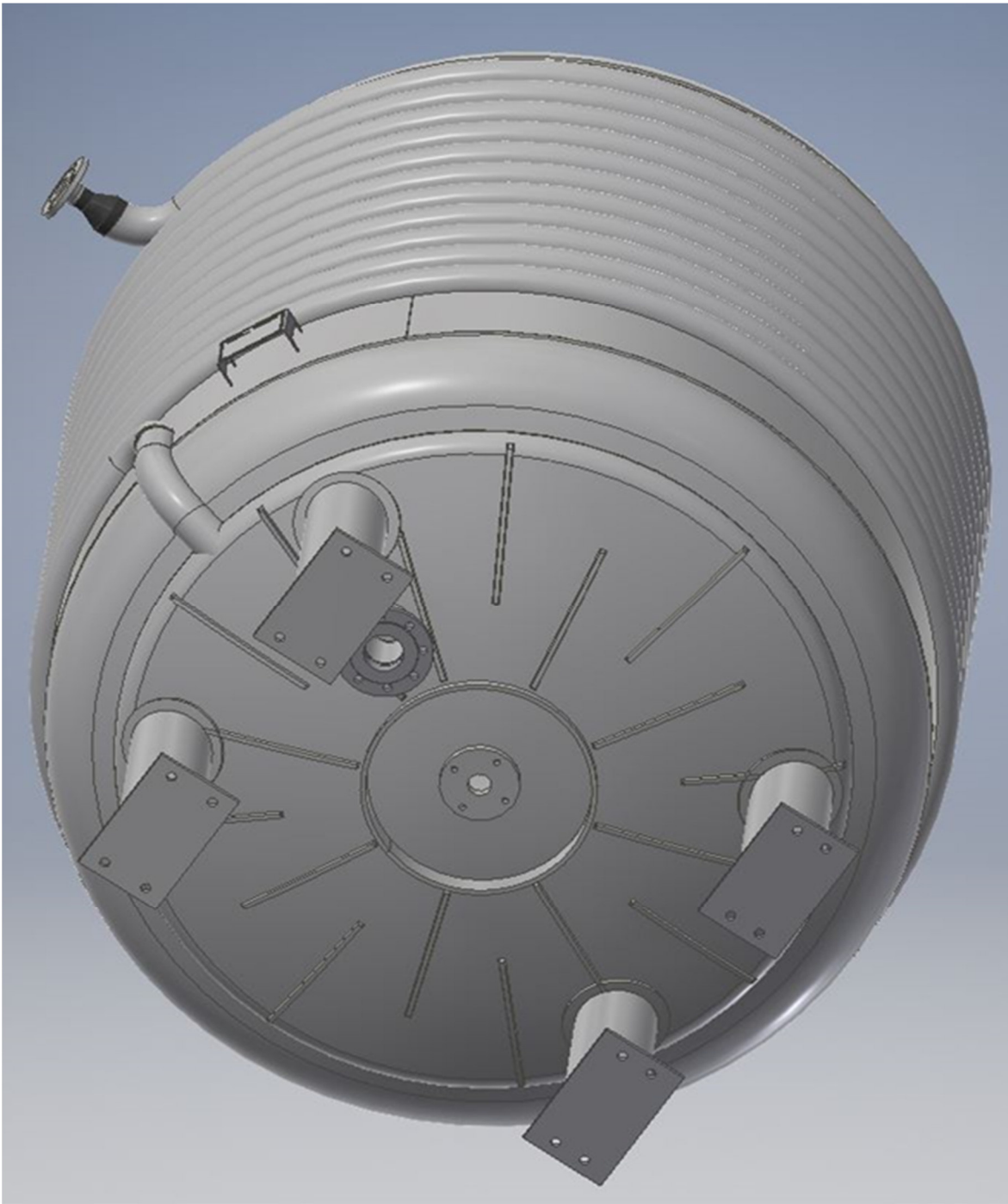
Des Weiteren umgehen der Außenrand der Scheibe und damit auch der äußere geschlossene Streifen zusätzliche Bauteile, beispielsweise Rohrstutzen, Füße für den Behälter oder dgl. Wenn also derartige Bauteile, beispielsweise Füße, vorhanden sind, kann die Scheibe derart ausgeschnitten sein, dass Sie Ausnehmungen in ihrem Außenrand aufweist, in denen die Füße zu liegen kommen. Der äußere geschlossene Streifen wird entsprechend diesen Ausnehmungen gebogen und umläuft ebenfalls die genannten Bauteile. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass die beheizte Fläche des Behälterbodens weiter vergrößert werden kann und sich auch zwischen die Füße des Behälters hinein erstreckt.



**Abbildung 32: Sternförmige Bodenheizung mit Rohrfüßen ausgenommen<sup>23</sup>**

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Componenten, 4812 Pinsdorf, Austria

Alternativ dazu kann bei zu nicht groß dimensionierten Behältern auch vorgesehen sein, dass die Füße für den Behälter direkt auf der Scheibe angebracht sind. Sie haben bei dieser Ausführungsform keinen direkten Kontakt mehr mit dem Behälterboden und daher muss auch die Scheibe nicht ausgeschnitten sein, sodass der gesamte Behälterboden mit dem Fluid in Kontakt kommen kann und daher die maximal mögliche Fläche für die Beheizung zur Verfügung gestellt wird.



**Abbildung 33: Sternförmige Bodenheizung mit Rohrfüßen nicht ausgenommen<sup>23</sup>**

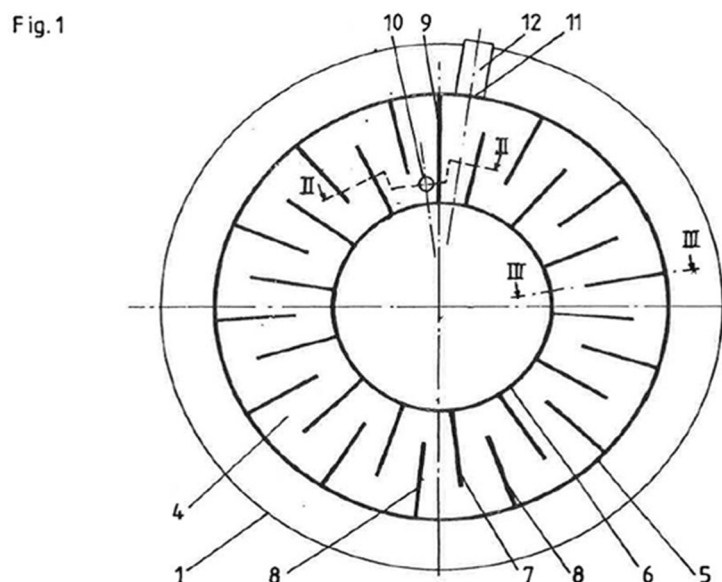
<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Komponenten, 4812 Pinsdorf, Austria

Wenn die radialen und die geschlossenen Streifen am Behälterboden angebracht, die Scheibe entlang der Kontaktlinien mit den radialen Streifen ausgeschnitten und die radialen Streifen mit der Scheibe verbunden sind, ergibt sich eine besonders stabile Anordnung und durch die Zugängigkeit der Verbindungsstellen, durch die Ausschnitte der Scheibe ist diese Anordnung überdies besonders einfach und rasch herstellbar. Dies gilt insbesondere in verstärktem Ausmaß dann, wenn die radialen Streifen bis zur äußeren Oberfläche der Scheibe reichen.

Die beste Stabilität und rasche, bewährte Herstellungsverfahren sind möglich, wenn alle Bauteile aus einem metallischen Werkstoff bestehen und/oder die Materialpaarungen artgleiche Werkstoffe darstellen, z.B. Normalstähle mit Normalstählen, Edelstähle mit Edelstählen usw. und die Verbindungen zwischen diesen Schweißverbindungen sind.

#### 2.5.4 Beschreibung

In der nachfolgenden Beschreibung soll die Ausführungsvariante der Beheizung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigt die Fig. 1 eine Draufsicht auf den Behälterboden von der Außenseite her, die Fig. 2 ist ein Schnitt entlang der Linie II-II der Fig. 1 und Fig. 3 ist ein Schnitt entlang der Linie III-III der Fig. 1.



**Abbildung 34: Draufsicht auf den Behälterboden von der Außenseite<sup>23</sup>**

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Componenten, 4812 Pinsdorf, Austria

Die Fig. 1 zeigt einen beheizbaren Behälter, wie er vorzugsweise in der chemischen Industrie als Reaktor zum Einsatz kommt. An einem zylindrischen Mittelteil, dessen Umfangslinie mit 1 bezeichnet ist, schließt sich zu beiden Seiten ein Boden 2 bzw. ein Deckel an der gegenüberliegenden Seite an. Wie aus den Fig. 2 und 3 zu ersehen ist, handelt es sich im gegenständlichen Fall um einen sogenannten Klöpperboden, d.h. einen gewölbten Boden 2, der über eine Krempe 3 mit kleinem Radius in die zylindrische Wandung 1 übergeht. Auf die Darstellung von Füßen, Ein- und Auslassstutzen und ähnlicher Bauteile im Boden 2 wurde der Einfachheit halber verzichtet.

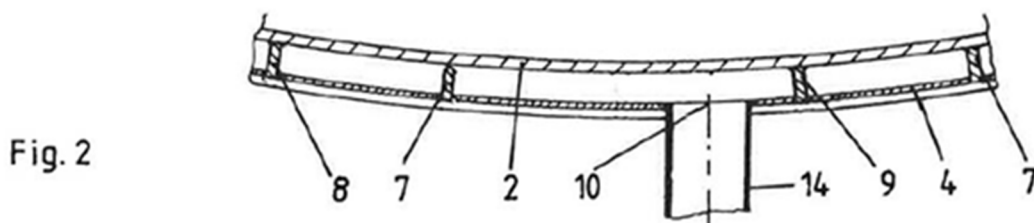


Abbildung 35: Schnitt entlang der Linie II - II<sup>23</sup>

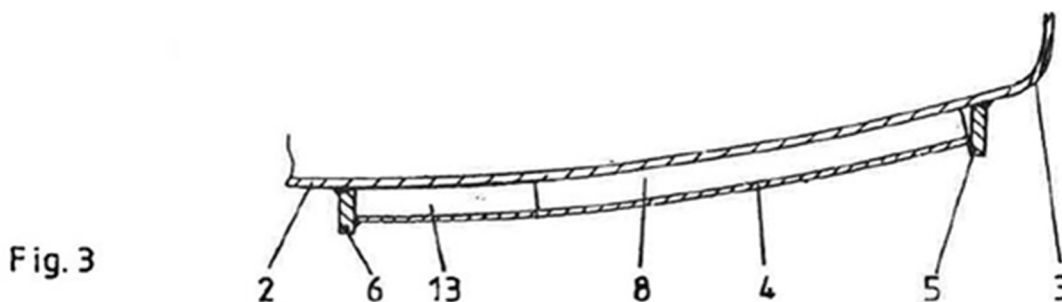


Abbildung 36: Schnitt entlang Linie III - III<sup>23</sup>

Der Hohlraum, durch welchen das zu Beheizung des Behälterbodens vorgesehene Fluid geführt wird, ist einerseits vom Behälterboden 2 selbst und andererseits durch eine Wölbung des Bodens angepasste Scheibe 4 begrenzt. In radialer Richtung ist am äußeren Rand der Scheibe 4 ein geschlossener Ring 5 vorgesehen, der den besagten Raum für das Fluid nach außen hin begrenzt. Radial nach innen hin wird der Hohlraum für das Fluid durch einen zweiten konzentrischen Ring 6 begrenzt, sodass im Zentrum des Bodens 2 ein Bereich für die Durchführung von Rohrstutzen oder dgl. freigehalten bleibt. Sollten derartige Durchführungen nicht

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Komponenten, 4812 Pinsdorf, Austria

vorgesehen sein, ist es auch möglich, den inneren Ring 6 ganz zu vermeiden, so dass sich die Scheibe 4 bis zum Zentrum des Bodens 2 erstreckt. Auch die genauen Abmessungen der Scheibe bezüglich ihres äußeren Radius und damit auch der Position des äußeren geschlossenen Ringes 5 ist variabel und kann je nach den vorliegenden Anforderungen bestimmt sein.

In Fig. 1 sind schließlich noch ebene, gerade Streifen 7, 8 und 9 durch ihre Verbindungsstellen zur Scheibe 4 erkennen, die als Zwangsführung für das Heizfluid dienen und gleichzeitig auch als Versteifung für sowohl den Boden 2 als auch die Scheibe 4 vorgesehen sind. Diese Streifen 7, 8, 9 verlaufen radial und in Umfangsrichtung gesehen sind diese Streifen alternierend derart angeordnet, dass sie auf einen vom Zentrum bzw. vom inneren geschlossenen Streifen 6 ausgehen. Ihr radial äußeres Ende liegt jedoch in einem bestimmten Abstand zum äußeren Streifen 5, sodass zwischen diesem äußeren Ende des ebenen Streifens 7 und dem äußeren geschlossenen Streifen 5 ein Durchlass für das Fluid gegeben ist. Das umgekehrte Verhältnis liegt bei den jeweils benachbarten Streifen 8 vor, wo der Durchlass für das Heizfluid an der Innenseite liegt. Dazu geht der ebene Streifen 8 vom äußeren geschlossenen Streifen 5 aus und endet in einem bestimmten Abstand zum Zentrum bzw. zum inneren geschlossenen Streifen 6.

Um keine ununterbrochene Durchströmung des Fluidraumes, sondern die einmalige Durchströmung zu ermöglichen, ist ein langer radialer Streifen 9 vorgesehen, der vom Zentrum bzw. dem inneren Streifen 6 bis hin zum äußeren Streifen 5 verläuft. Der Einlass 10 bzw. der Auslass 11 für das Heizfluid liegt auf je einer gegenüberliegenden Seite bezüglich dieses langen radialen Streifen 9. Nach seinem Eintritt in dem vom Behälterboden 2 der Scheibe 4 und den geschlossenen Streifen 5, 6 gebildeten Hohlraum durch den Einlass 10, durchströmt das Fluid diesen Hohlraum mäanderförmig um die durch die Streifen 7 und 8 gebildeten Zwangsführungen, bis es nach einem vollständigen „Umlauf“ durch den Auslass 11 austritt und vorteilhafterweise über ein kurzes an der Behälteraußenseite anliegendes gebogenes Leitungsstück 12 zu den herkömmlich Heizeinrichtungen, wie beispielsweise Halbrohrschlangen oder Rohrschlangen für die zylindrische Wandung geleitet wird.

Die Fig. 2 zeigt einen Querschnitt entlang der Linie II-II der Fig. 1. Die ebenen Streifen 7, 8, 9 sind nun im Querschnitt zu sehen, wobei von links nach rechts zuerst ein vom äußeren Streifen 5 ausgehender ebener Streifen 8, anschließend ein vom inneren Streifen 6 ausgehender ebener Streifen 7, danach der lange radiale Streifen 9, welcher sich von einem Streifen 5 bis zum anderen Streifen 6 ausgehender kurzer radialer Streifen 7 dargestellt ist. Weiters ist der Einlass 10 für das Heizfluid und der davor liegende Rohrstutzen 14 für dessen Zugführung zu sehen.

Die Fig. 3 zeigt schließlich einen Querschnitt entlang der Linie III-III der Fig. 1. Hier ist ganz deutlich der gewölbte Boden 2 des Behälters zu erkennen, der sich über die Krempe 3 an die zylindrische Wandung 1 anschließt. Die Scheibe 4 ist in gleichem Maß wie der Behälterboden 2 gewölbt und ihr Außen- bzw. Innenrand endet bei dem äußeren geschlossenen Streifen 5 bzw. dem inneren Streifen 6 und ist mit diesem verbunden. Schließlich ist auch ein ebener gerader Streifen 8 zu erkennen, der sich vom äußeren geschlossenen Streifen 5 radial nach innen hin erstreckt, jedoch in einem bestimmten Abstand vom inneren Streifen 6 endet um somit einen Durchlass 13 für das Heizfluid freizulassen.

Aus den Fig. 2 und 3 ist zu erkennen, dass sich vorzugsweise die Streifen 7, 8, 9 bis zur äußeren Oberfläche der Scheibe 4 erstreckt, zu welchem Zweck diese Scheibe 4 mit Ausschnitten versehen ist, durch welche die besagten Streifen 7, 8, 9 hindurch reichen. Dies erleichtert die Herstellung insofern, als nach Anbringen des Streifen 7, 8, 9 die Scheibe 4 auf den Boden 2 mit der Anordnung der Streifen 7, 8, 9 und natürlich auch der geschlossenen Streifen 5, 6 aufgesetzt und von außen mit diesen verbunden werden kann. Vorzugsweise sind alle Bauteile aus metallischem Werkstoff angefertigt und die Verbindungen werden durch Schweißen bewerkstelligt. Dabei sind wie in Fig. 3 zu erkennen ist, die dem Behälterboden 2 zugewandten Ränder der Streifen 7, 8, 9 sich verjüngend ausgeführt, sodass auch deren Anbringung durch Schweißen am Behälterboden 2 leichter möglich ist.

Die feste Verbindung zwischen Scheibe 4, den Streifen 7, 8, 9 und dem Behälterboden 2 gestattet einerseits eine Verwendung von unter erhöhtem Druck stehenden Heizfluid ohne dass die Gefahr besteht, dass sich der Behälterboden 2 oder die Scheibe 4 aufwölbt, andererseits ist durch die besagte Abstützung auch



eine Anbringung von beispielsweise Füße für den Behälter direkt auf der Scheibe 4 möglich, wenn der Behälter nicht zu groß und damit zu schwer dimensioniert ist.

Die Wandstärken sowie die Länge und die Anzahl der ebenen geraden Streifen 7, 8, 9 sind abhängig von den Betriebsparametern und ergeben sich daraus aus standardmäßigen Festigkeitsberechnungen. Um jedoch die zuvor beschriebene Ein- und Ausleitung des Heizfluides zu gestatten, wobei der Einlass 10 näher dem Zentrum des Behälterbodens 2 und der Auslass 11 näher dem Rand liegt, muss die Anzahl der radialen Streifen 7, 8, 9 ungerade sein.

Abschließend ist zu erwähnen, dass die Konstruktion nicht nur für die beispielhaft dargestellte Klöpperbodenform, sondern allgemein für gewölbte Böden, d.h. auch für Korbbogenform und Kugelform, als auch für Kegel- oder Flachböden entsprechend einsetzbar ist.



### **3 Betrachtung der Sternheizung hinsichtlich gegenw. Ausführung**

In diesem Kapitel wird untersucht, ob die spezielle Ausführung der sternförmigen Bodenbeheizung eines Apparates hinsichtlich Berechnung und Fertigung zum heutigen Stand der Technik optimiert werden kann. Da diese Beheizungsart bei Druckbehältern auf Grund der großen Heiz- bzw. Kühlfläche sehr beliebt ist, jedoch auf Grund der konservativen Berechnung und Ausführung der Schweißnähte in den letzten Jahren unwirtschaftlich geworden ist.

In der Verfahrenstechnik sind die Anforderungen an Heiz- und Kühlleistung immer mehr gestiegen. Dadurch sind die Auslegungsdrücke und Temperaturen für die Beheizung bzw. Kühlung gestiegen, dass wiederum wirkt sich auf die Wanddicken der Heizungsböden und zugleich auf die Anarbeitung der Schweißnahtvorbereitung aus.

Da bei diesen Apparaten in der chemischen Industrie hauptsächlich hochlegierte Stähle (Chrom - Nickel - Stähle) eingesetzt werden, wirken sich die erhöhten Wanddicken der Böden massiv auf den Materialpreis aus.

Des Weiteren wird die Schweißkantenanarbeitung immer aufwendiger. Da Diese bei den gewölbten Böden bis zum heutigen Zeitpunkt mittels Schleifen durch Handarbeit ausgeführt wird, soll geprüft werden, ob andere Fertigungsmöglichkeiten mittels maschineller Anarbeitung möglich sind.

In den folgenden Kapiteln werden die Festigkeitsberechnung, Ausführung und Fertigung wie bis jetzt gefertigt wird erläutert und zugleich untersucht was zum heutigen Stand der Technik angewendet werden kann.

#### **3.1 Berechnung der sternförmigen Bodenheizung**

##### **3.1.1 Einführung**

Hauptsächlich wird diese Bodenbeheizung bei unbefeuerten Druckbehältern eingesetzt, dadurch muss für diese Behälter die Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU

angewendet werden, diese legt die Anforderungen an die Druckgeräte für das Inverkehrbringen von Druckgeräten innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes (EWR) fest.

Zur Erfüllung der Mindestanforderungen kann der Hersteller eine harmonisierte Norm (z.B. Normenreihe EN 13445 für unbefeuerte Druckbehälter, Normenreihe EN 13480 für industrielle Rohrleitungen, Normenreihe EN 12952 für Wasserrohrkessel, Normenreihe EN 12953 für Großwasserraumkessel) anwenden und kann dann davon ausgehen, dass er die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen erfüllt. Er kann aber auch andere Spezifikationen (z.B. **AD 2000-Regelwerk**, CODAP 2000, BS 5500, ASME Boiler and Pressure Vessel Code (ASME U Stamp)) anwenden, wenn er nachweist, dass er damit ebenfalls die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen erfüllt. Dies wird durch eine Benannte Stelle geprüft.

Da im deutschsprachigen Raum das AD2000 Regelwerk gegenüber der harmonisierten Norm EN13445 noch sehr verbreitet ist und oft noch gefordert wird, wird hier die Festigkeit der Bodenbeheizung nach dem Regelwerk AD2000 berechnet.

### **3.1.2 Berechnung nach dem Regelwerk AD2000 B5**

Da keine Norm oder Regelwerk für diese spezielle sternförmige Bodenbeheizung eine Berechnungsart oder Formel vorsieht wird hier die Berechnung nach AD2000 B5 Kapitel 6 durchgeführt. (Ausgabe 2015, Stand: April 2015, 9.Auflage)

## 6 Berechnung

### 6.1 Unverankerte, runde, ebene Böden und Platten ohne zusätzliches Randmoment

6.1.1 Die erforderliche Wanddicke  $s$  unverankerter, runder, ebener Böden und Platten ohne zusätzliches Randmoment beträgt

$$s = C \cdot D_1 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 K}} + c_1 + c_2 \quad (2)$$

Die Berechnungsbeiwerte  $C$  und die Berechnungsdurchmesser  $D_1$  sind entsprechend Tafel 1 einzusetzen.

### 6.2 Unverankerte, rechteckige oder elliptische Platten ohne zusätzliches Randmoment

6.2.1 Die erforderliche Wanddicke  $s$  unverankerter, rechteckiger oder elliptischer Platten ohne zusätzliches Randmoment nach Bild 1 beträgt

$$s = C \cdot C_E \cdot f \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 K}} + c_1 + c_2 \quad (3)$$

Der aus Bild 2 zu entnehmende Beiwert  $C_E$  berücksichtigt die besonderen Verhältnisse rechteckiger oder elliptischer Platten. Der  $C$ -Wert ist entsprechend den vorliegenden Randbedingungen, bezogen auf die Schmalseite, Tafel 1 zu entnehmen.

Abbildung 37: Berechnung aus AD2000 B5

Tafel 1 — Berechnungsbeiwerte unverankerter, runder, ebener Böden und Platten ohne zusätzliches Randmoment

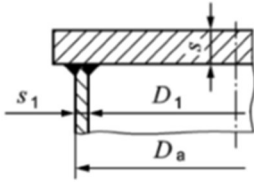
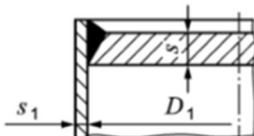
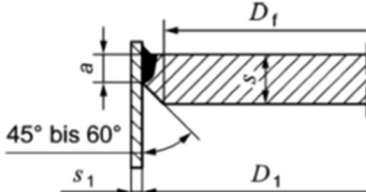
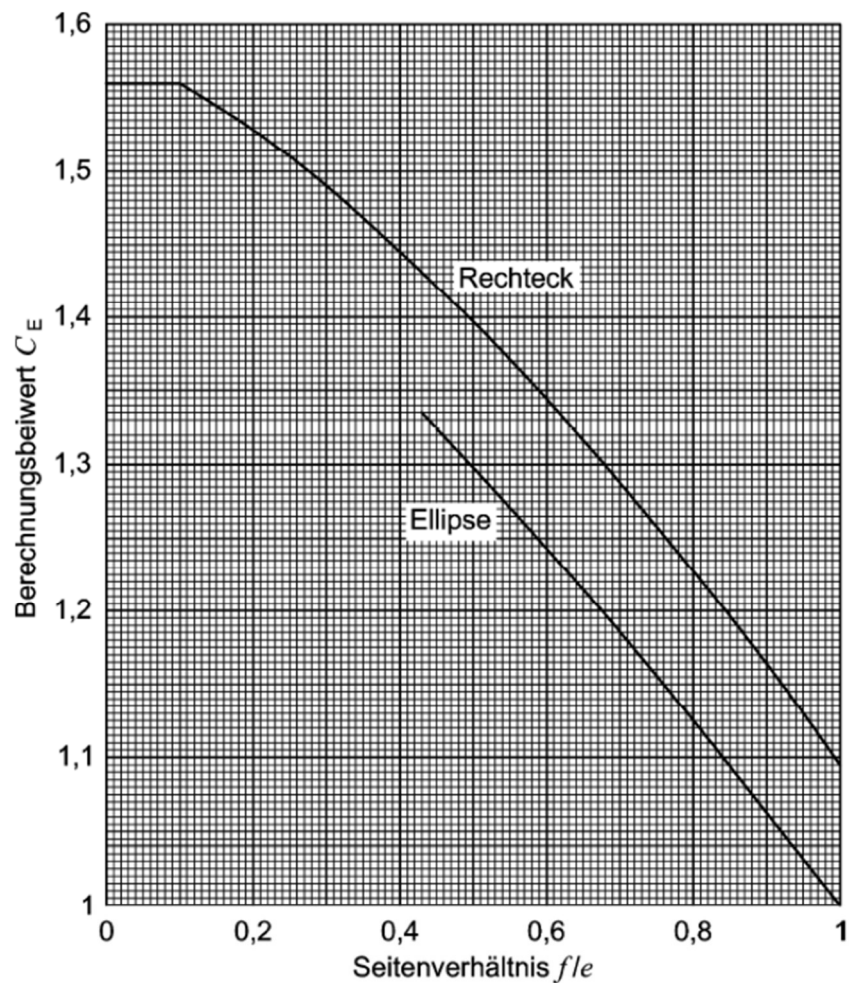
Ausführungsform (nur schematische Darstellung)	Voraussetzungen	Berechnungs- beiwert $C$
f) beidseitig aufgeschweißte Platte 	Plattenwanddicke: $s \leq 3 s_1$ $s > 3 s_1$  Es dürfen nur beruhigt vergossene Stähle verwendet werden. Bei der Verwendung von Blechen darf die Platte im Bereich der Schweißnaht in einer Breite von mindestens $3 s_1$ keine Dopplungen aufweisen <sup>2)</sup> .	0,40 0,45
h) einseitig eingeschweißte Platte 	Plattenwanddicke: $s \leq 3 s_1$ $s > 3 s_1$	0,45 0,50
i) partiell durchgeschweißte ebene Platte 	Plattenwanddicke: $s \leq 3 s_1$ $s > 3 s_1$  Bedingungen für a: $a \geq 0,5 s$ und $a \geq 1,4 s_1$ $D_t/D_1 \geq 0,7$	0,45 0,50

Abbildung 38: Tafel 1 aus AD2000 B5



**Bild 2 — Berechnungsbeiwert  $C_E$  rechteckiger oder elliptischer Platten**

#### **Rechteckige Platten**

$f$  = schmale Seite der rechteckigen Platte  
 $e$  = breite Seite der rechteckigen Platte

#### **Elliptische Platten**

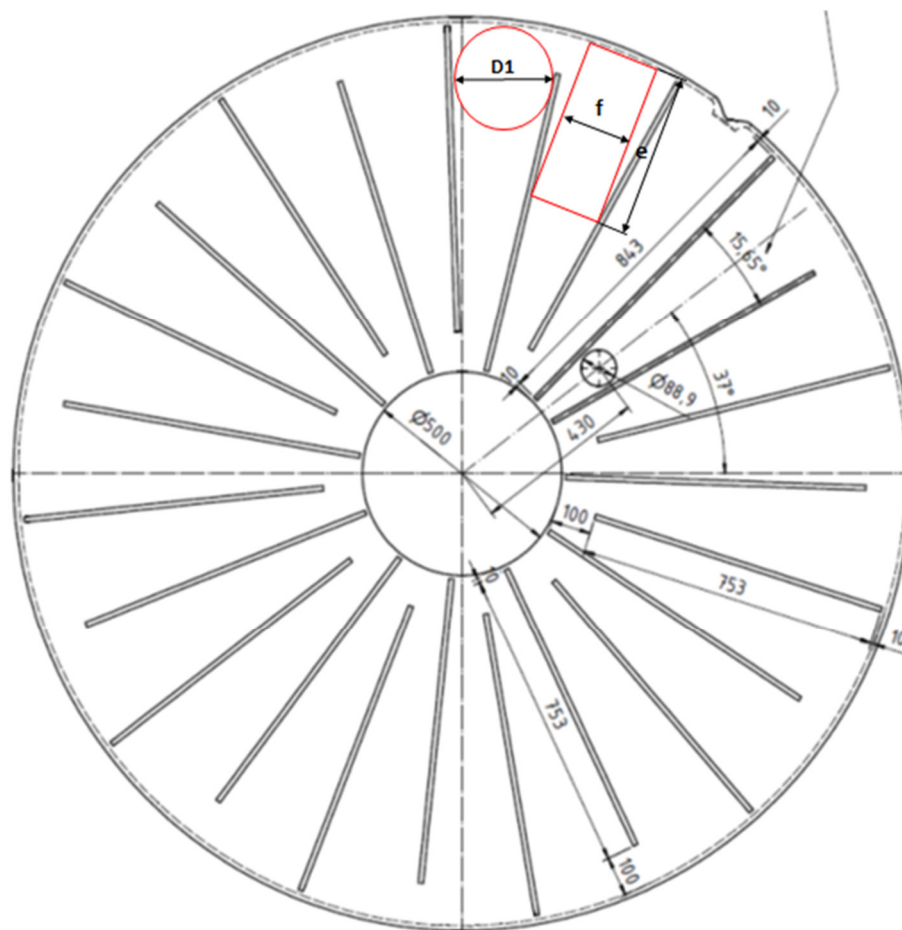
$f$  = schmale Seite der elliptischen Platte  
 $e$  = breite Seite der elliptischen Platte

**Abbildung 39: Bild 2 aus AD2000 B5**

Bei dieser Berechnungsart werden bei der Sternheizung der größtmögliche Kreis bzw. das größtmögliche Rechteck zwischen den Versteifungsrippen eingeschrieben. Aufgrund dieser Abmessungen werden dann nach AD2000 B5 Formel 2 und 3 die Wanddicken für den Behälterboden und der gewölbten Scheibe berechnet. Der größere Wert aus Formel 2 und 3 wird als Ergebnis für die Mindestwanddicke herangezogen.



## Angaben für Berechnung:



**Abbildung 40: Abmessungen der sternförmige Beheizung<sup>23</sup>**

### **Behälter:**

$P_S = -1 / +8 \text{ bar}_{\text{ü}}$

$T_S = -20 / +180^\circ\text{C}$

maximal zulässiger Druck

maximal zulässige Temperatur

### **Heizmantel:**

$P_S = -1 / +6 \text{ bar}_{\text{ü}}$

$T_S = -20 / +180^\circ\text{C}$

maximal zulässiger Druck

maximal zulässige Temperatur

$S = 1,5$

$K_{TS} = 197 \text{ N/mm}^2$

Sicherheitsfaktor

Festigkeitswert bei maximal  
zulässiger Temperatur

$D_1 = 307 \text{ mm}$

$e = 350 \text{ mm}$

$f = 200 \text{ mm}$

$C = 0,45$

$C_E = 1,57$

$c_1 = 0 \text{ mm}$

$c_2 = 0 \text{ mm}$

aus Abbildung 4

aus Abbildung 4

aus Abbildung 4

aus Tafel 1 AD2000 B5

aus Bild 2 AD2000 B5

Toleranzzuschlag

Abnutzungszuschlag

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Componenten, 4812 Pinsdorf, Austria

### 3.1.3 Ergebnis der Berechnung nach dem Regelwerk AD2000 B5:

Behälterboden mit 7 bar<sub>ü</sub> auf Grund gegenseitiger Beeinflussung (Vakuum)

$S_{BB2} = 10,1 \text{ mm}$  Berechnung nach AD2000 B5 Formel 2

$S_{BB3} = 8,9 \text{ mm}$  Berechnung nach AD2000 B5 Formel 3

**=> Der Behälterboden muss einen Mindestwanddicke von 10,1 mm haben!!!**

Gewölbte Scheibe mit 6 bar<sub>ü</sub> im Heizmantel

$S_{GS2} = 9,5 \text{ mm}$  Berechnung nach AD2000 B5 Formel 2

$S_{GS3} = 8,2 \text{ mm}$  Berechnung nach AD2000 B5 Formel 3

**=> Die gewölbte Scheibe muss eine Mindestwanddicke von 9,5 mm haben!!!**

Da bei der Herstellung von den Böden beim Umformen der Krempe Wanddickenunterschreitungen von 10% möglich sind, müssen für den Behälterboden und die gewölbte Scheibe Bleche mit Einsatzwanddicken von **12 mm** eingesetzt werden.

## 3.2 Aktuelle Ausführung der Schweißnahtvorbereitung und Schweißnähte

### Bezeichnung der Bauteile:

- Position 1: Behälterboden  
Position 2: gewölbte Scheibe  
Position 3: Versteifungsrippe  
Position 4: Innenring sternförmige Bodenheizung

### 3.2.1 Schweißnaht zw. Versteifungsrippe und Behälterboden

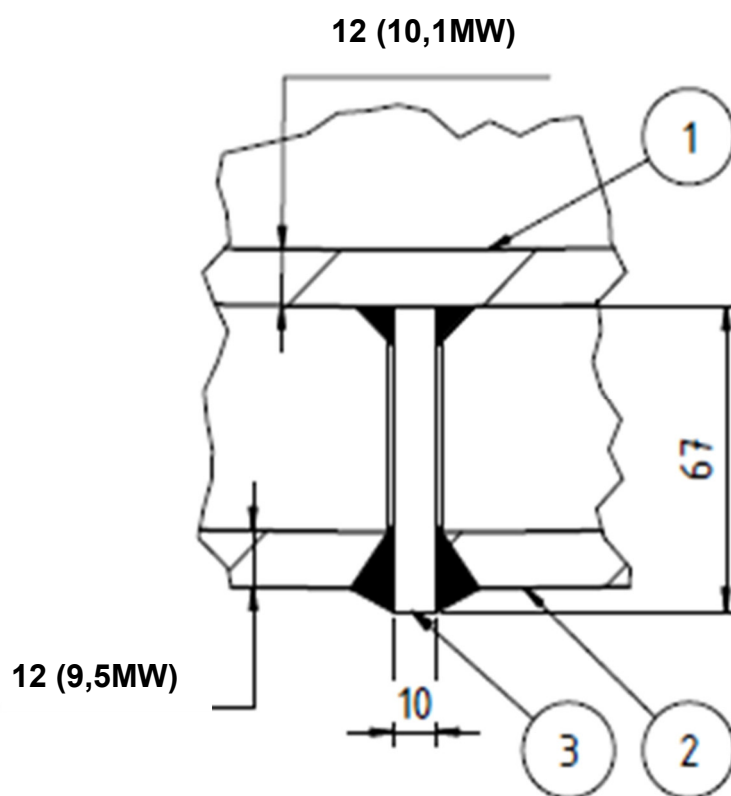


Abbildung 41: Schweißdetail Rippe<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Komponenten, 4812 Pinsdorf, Austria

### 3.2.2 Schweißnaht zw. Behälterboden und gewölbter Scheibe

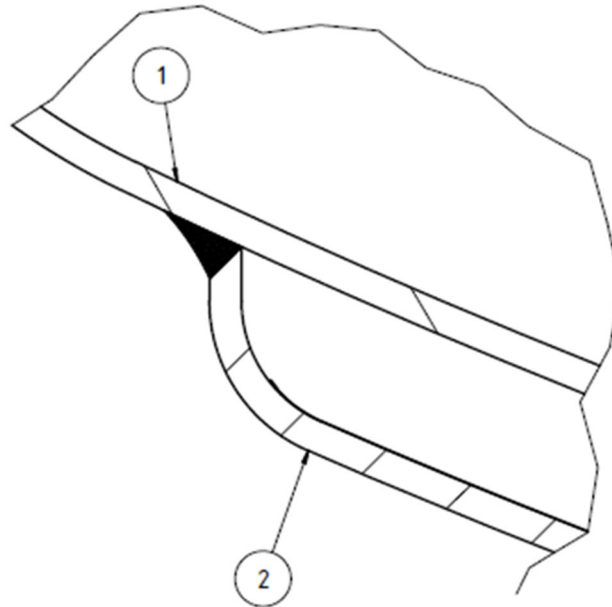


Abbildung 42: Schweißdetail Behälterboden und gewölbter Scheibe<sup>23</sup>

### 3.2.3 Schweißnaht zw. Behälterboden, gewölbter Scheibe und Innenring

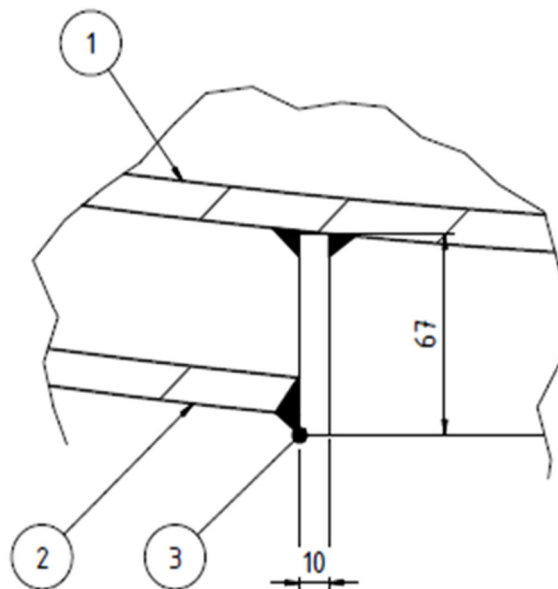


Abbildung 43: Schweißdetail Behälterboden, gewölbter Scheibe und Innenring<sup>23</sup>

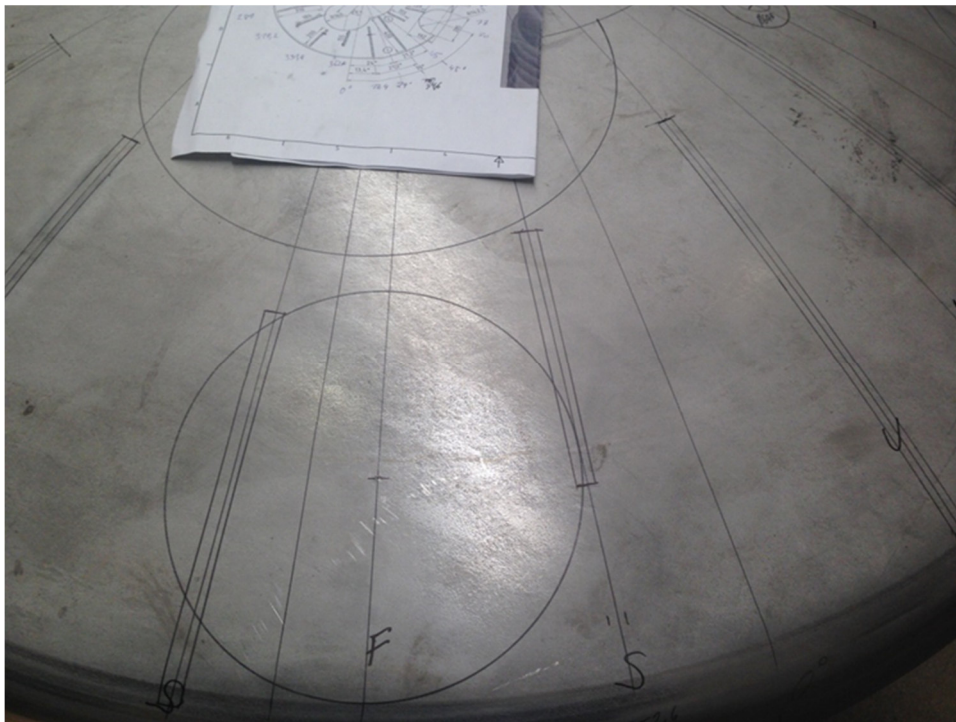
<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Componenten, 4812 Pinsdorf, Austria

### 3.3 Gegenwärtige Herstellung der Bodenheizung

Die gegenwärtige Herstellung der Sternheizung wird auf Grund der aktuellen Ausführung und Möglichkeiten mit konventionellen Herstellungsverfahren hergestellt.

#### 3.3.1 Arbeitsablauf

1. Anreißen der Ausschnitte für die Versteifungsrippen auf der gewölbten Scheibe mittels Permanentmarker.



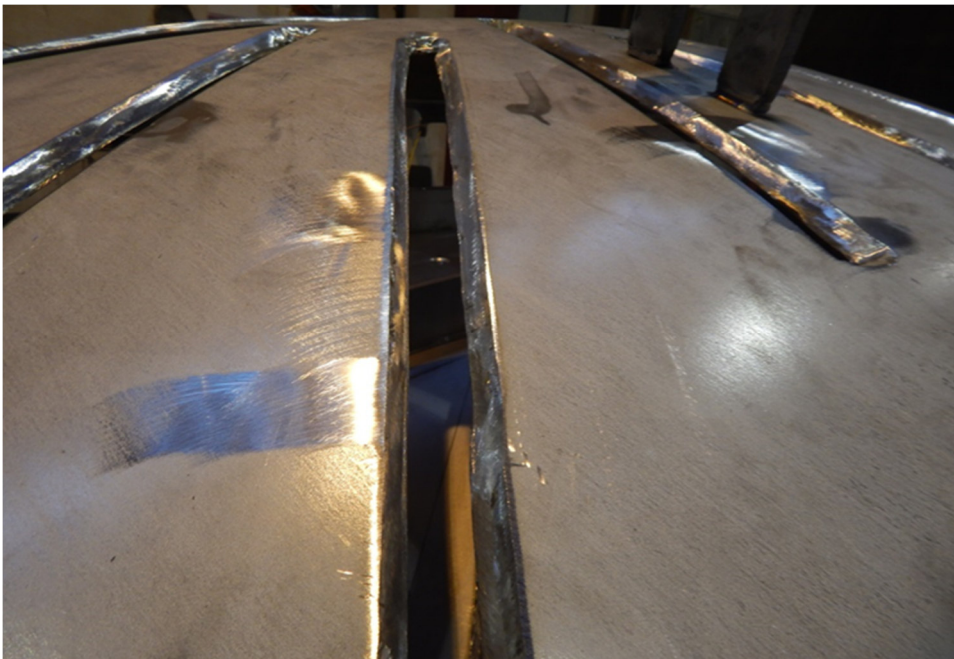
**Abbildung 44: Gewölbte Scheibe markiert**

2. Ausbrennen der Schlitzte mittels manueller Plasmaschneidanlage (thermisches Trennen). Hierbei wird die Schweißfuge mittels Schrägstellung des Brenners aufgebracht. Diese Schnittkante ist durch das manuelle Schneiden sehr unregelmäßig und massiv verzundert.



**Abbildung 45: Manuelles Plasmaschneiden mit schräggestelltem Brenner**

3. Manuelles Abschleifen der Verzunderung mittels Winkelschleifer



**Abbildung 46: Rippenausschnitte nach dem Abschleifen**



4. Anheften der Versteifungsrippen auf den Behälterboden. Hierbei ist die gewölbte Scheibe auf dem Behälterboden montiert, damit bei der Endmontage die Scheibe mit den aufgeschweißten Versteifungsrippen am Behälterboden deckungsgleich ist.



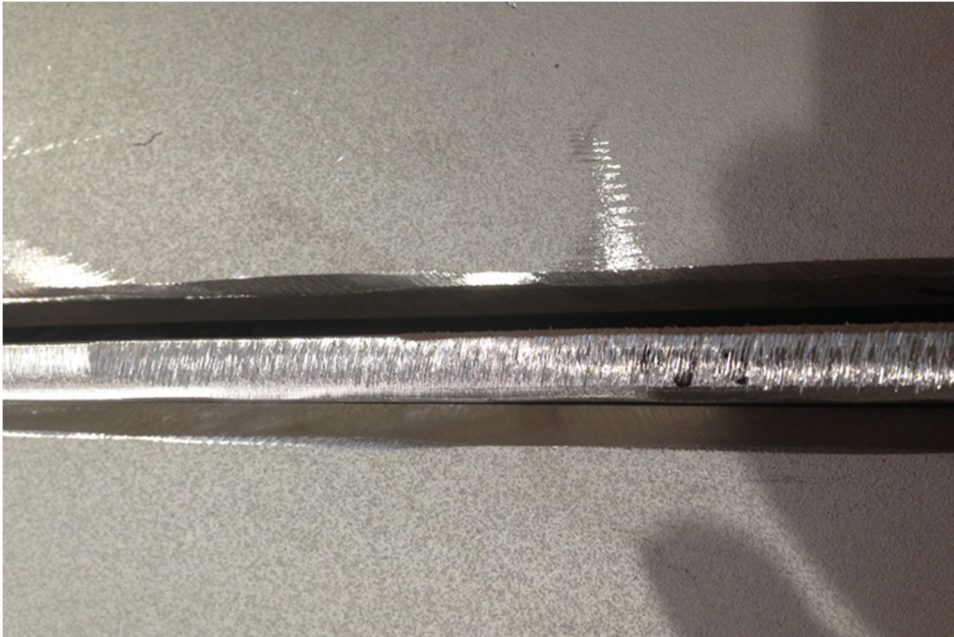
**Abbildung 47: Rippe geheftet**

5. Ausschweißen der Rippen am Behälterboden und anschließendes Passivieren der Schweißnähte.



**Abbildung 48: Rippen geschweißt und passiviert**

6. Richten der Rippen (Schweißverzug durch Schweißnahtdicke  $a = 5 \text{ mm}$ ) und gleichzeitiges montieren und heften der gewölbten Scheibe auf den Behälterboden.



**Abbildung 49: Rippe noch nicht gerichtet**

7. Ausschweißen der Rippen an der gewölbten Scheibe unter Füllung von Formiergas. Durch den gegenwärtigen Vollanschluss müssen mehrere Schweißlagen ausgeführt werden. (Anzahl der Schweißlagen = Wanddicke / 2 od. 3; je nach Schweißverfahren)



**Abbildung 50: Wurzelschweißung unter Füllung von Formiergas**



8. Manuelle Wurzelschweißung der Anbindung zwischen gewölbter Scheibe und Behälterboden.



**Abbildung 51: Wurzelschweißnaht zwischen gewölbter Scheibe und Boden**

9. Maschinelle Mehrlagenschweißung der Anbindung zwischen gewölbter Scheibe und Behälterboden.



**Abbildung 52: Maschinelle Mehrlagenschweißung**

### 3.4 Fazit

Bei Druckbehältern ist die Sternheizung bis dato bei den Kunden noch immer sehr beliebt, da sie eine wesentlich höhere Heizfläche als eine Halbrohrschlange hat. Die aktuelle Berechnungsgrundlage basiert nach dem Regelwerk AD2000 mit 2 versteiften ebenen Böden, wobei zurzeit die Wölbung der Böden vernachlässigt wird. Dadurch kommen bei höheren Drücken bei der Festigkeitsberechnung trotz der Versteifungsrippen noch immer relativ große Wanddicken beim Behälter- und Heizungsboden heraus. Des Weiteren ist durch die Großen Wanddicken die jetzige Ausführung keinesfalls wirtschaftlich. Durch die massive Bauweise ist die Sternheizung ziemlich steif und dies führt hin und wieder zu Problemen (Risse in der Schweißnaht).

Ziel ist es die Wanddicken etwas zu reduzieren um die Sternheizung etwas elastischer und wirtschaftlicher zu gestalten. Des Weiteren sollte eine Schweißnahtbewertung durchgeführt werden, um die Schweißlagen zu verringern und die daraus entstehenden Schweißspannungen zu minimieren. Da bei der aktuellen Berechnung die Wölbung der Böden nicht berücksichtigt wird, führt eine Überlegung dazu, die Berechnung der Sternheizung mittels Finite Elemente Methode durchzuführen.

Auch die Schweißkantenanarbeitung an der Sternheizung durch den Vollanschluss zwischen der gewölbten Scheibe und Rippe sind schwer auszuführen und ziemlich kostenintensiv. Da dies durch Handarbeit mittels Schleifen (Winkelschleifer) an gearbeitet wird. Durch die Wölbung der Scheibe ist dies maschinell schwierig umzusetzen.

Des Weiteren sollte die Anbindung zwischen gewölbter Scheibe und Behälterboden analysiert werden. Diese Anbindung wird jetzt auch mit einem Vollanschluss ausgeführt. Am besten wäre eine Lösung auf die Schweißkantenanarbeitung verzichten zu können.

Sollte eine FEM – Berechnung hinsichtlich Wanddickenreduzierung und Schweißnahtbewertung zum Erfolg führen, könnte man hier eine Modellrechnung durchführen und diese dann in eine Excel Berechnungsmaske umwandeln um zukünftig einfacher die Berechnungen durchzuführen, da die Sternheizungen ja sehr variantenreich sind. Beziehungsweise könnte man die FEM – Berechnung parametrisieren um Diese mit wenig Aufwand individuell ausführen zu können.

Da bei Inverkehrbringen bzw. Herstellung von Druckgeräten die Druckgeräterichtlinie PED2014/68/EU in Verbindung mit einer harmonisierten Norm oder Regelwerk angewendet werden muss und dies durch eine benannte Stelle überwacht wird, wurde in Zusammenarbeit mit dem TÜV Süd (Benannte Stelle) die FEM-Berechnung durchgeführt bzw. in Auftrag gegeben.

Die Vorteile von dieser Zusammenarbeit sind, dass ein Hersteller von Druckgeräten diese vor Fertigungsbeginn zur Entwurfsprüfung bei der benannten Stelle einreichen muss, damit die Berechnung und Konstruktion der Druckgeräte überprüft wird.





## **4 Betrachtung der Sternheizung hinsichtlich gegenw. Technologien**

### **4.1 Berechnung mittels Finite Elemente Methode**

#### 4.1.1 Berechnung d. sternförmigen Bodenheizung mit Solid Works Simulation



Landesgesellschaft  
Österreich



### Simulation of Star Heating

Analysis type: Static

#### Table of Contents

Description.....	2
Model Information .....	3
Study Properties	
Measuring Units	
Material Properties .....	4
Loads and Fixtures.....	5
Mesh Information .....	6
Results.....	7
Conclusion .....	12



Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of 4\_Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich

## Description

Evaluation acc. AD2000 S4  
Drawing No.: Star Heating

Load case	Vessel	Heating Jacket	Max. Stress
1	+8	+6	600,3
2	+8	-1	451,4
3	-1	+6	811,5
4	-1	-1	107,9

Worst load case: 3

Max. pressure in vessel: -1 bar  
Max. pressure in heating jacket: +6 bar  
Max. temperatur: +180°C

Material: 1.4571  
 $R_{p1,0} = 206,0 \text{ N/mm}^2$   
 $S = 1,5$   
 $f = 137,3 \text{ N/mm}^2$

Klöpfer head vessel: Da=2624mm s=9,0mm  
Head heating jacket: Da=2250mm s=6,0mm  
Rips: s = 6 mm

Corrosion allowance: 0 mm

The wall thicknesses written above have to be seen as minimum wall thicknesses.



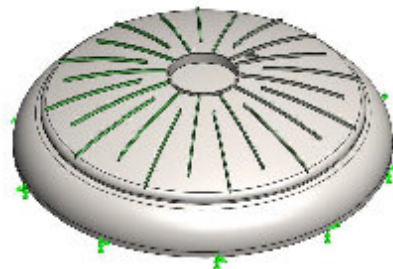
Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating




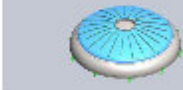
Landesgesellschaft  
Österreich

## Model Information



Model name: 4\_Star Heating  
Current Configuration: Standard

### Shell Bodies

Document Name and Reference	Formulation	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Schale-1 	Thin	Thickness: 10 mm Weight: 5669.81 N Volume: 0.072319 m <sup>3</sup> Mass: 578.552 kg Density: 8000kg/m <sup>3</sup>	
Schale-2 	Thin	Thickness: 6 mm Weight: 1922.51 N Volume: 0.0245218 m <sup>3</sup> Mass: 196.174 kg Density: 8000kg/m <sup>3</sup>	





Analyzed with SOLIDWORKS simulation

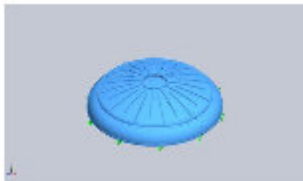
Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich

<b>Schale-3</b> 	Thin	<b>Thickness: 6 mm</b> <b>Weight: 59.1122 N</b> <b>Volume: 0.000753982 m<sup>3</sup></b> <b>Mass: 6.03186 kg</b> <b>Density: 8000kg/m<sup>3</sup></b>	
<b>Schale-4-26</b> 	Thin	<b>Thickness: 6 mm</b> <b>Weight: 32.9841 N</b> <b>Volume: 0.000420716 m<sup>3</sup></b> <b>Mass: 3.36573 kg</b> <b>Density: 8000kg/m<sup>3</sup></b>	

### Material Properties

Model Reference	Properties at 180 °C	Components
	<b>Name:</b> 1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2) <b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic <b>Default failure criterion:</b> Max von Mises Stress <b>Yield strength:</b> 137.3 N/mm <sup>2</sup> <b>Tensile strength:</b> 410 N/mm <sup>2</sup> <b>Elastic modulus:</b> 190000 N/mm <sup>2</sup> <b>Poisson's ratio:</b> 0.28 <b>Mass density:</b> 8000 g/cm <sup>3</sup> <b>Shear modulus:</b> 79000 N/mm <sup>2</sup> <b>Thermal expansion coefficient:</b> 1.7e-005 /Kelvin	All Components
Curve Data: N/A		



SOLIDWORKS


Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

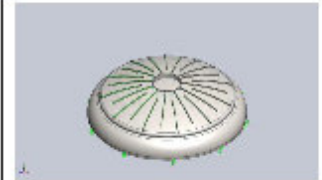
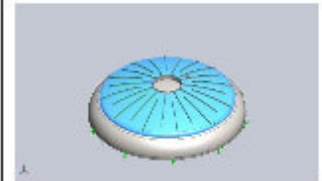
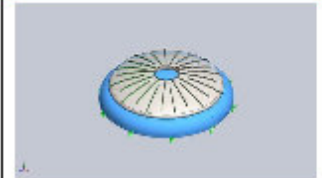
Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich

## Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixiert-1		Entities: 1 edge(s) Type: Fixed Geometry

Load name	Load Image	Load Details
Pressure_heating jacket inside		Entities: 1 face(s) Type: Normal to selected face Value: -0.1 Units: N/mm^2 (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg
Pressure_heating jacket outside		Entities: 3 face(s) Type: Normal to selected face Value: 0.1 Units: N/mm^2 (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg
Pressure_vessel		Entities: 5 face(s) Type: Normal to selected face Value: -0.6 Units: N/mm^2 (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg



Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating





Landesgesellschaft  
Österreich

### Mesh Information

Mesh type	Shell Mesh Using Surfaces
Mesher Used:	Blended curvature-based mesh
Jacobian check for shell	On
Maximum element size	20 mm
Minimum element size	3 mm
Mesh Quality	High



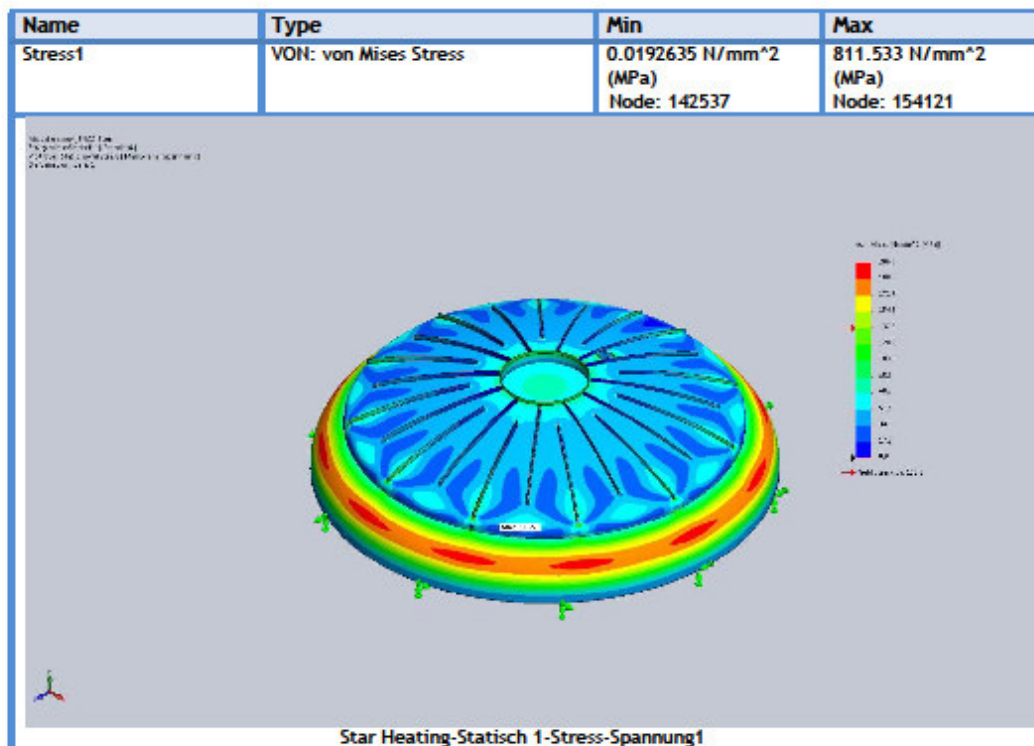
SOLIDWORKS Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich

## Results

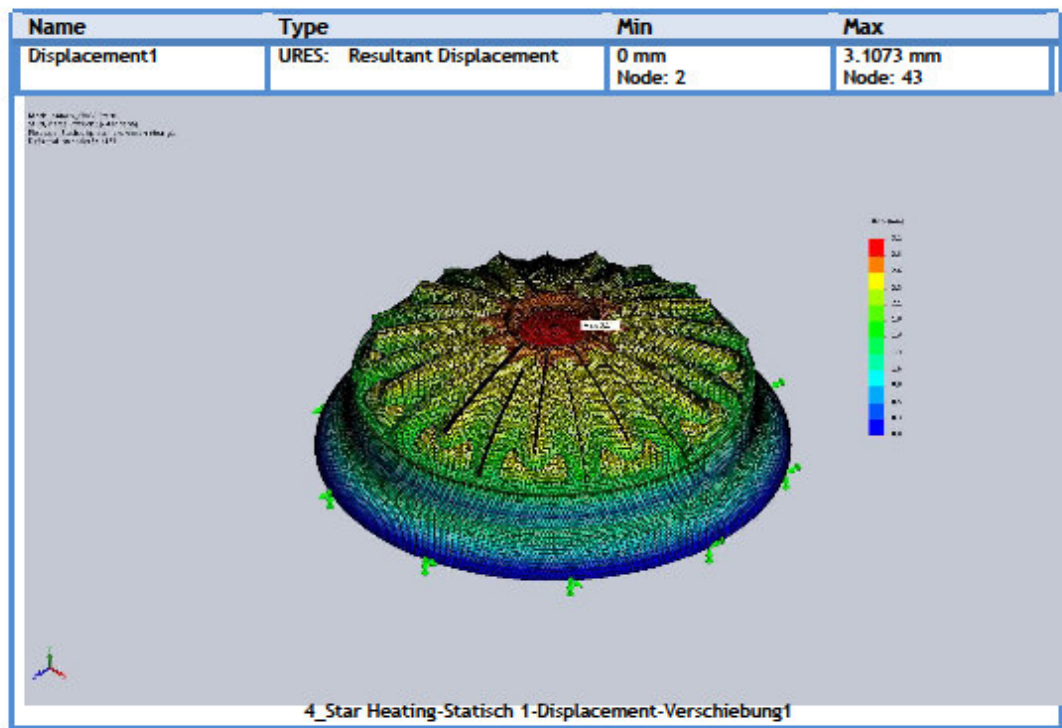


ANALYZED WITH SOLIDWORKS SIMULATION

Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich

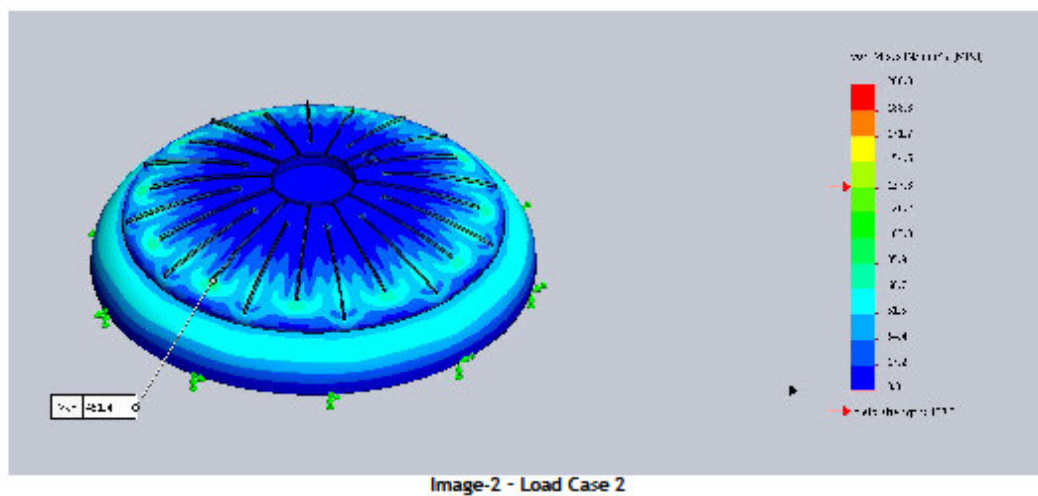
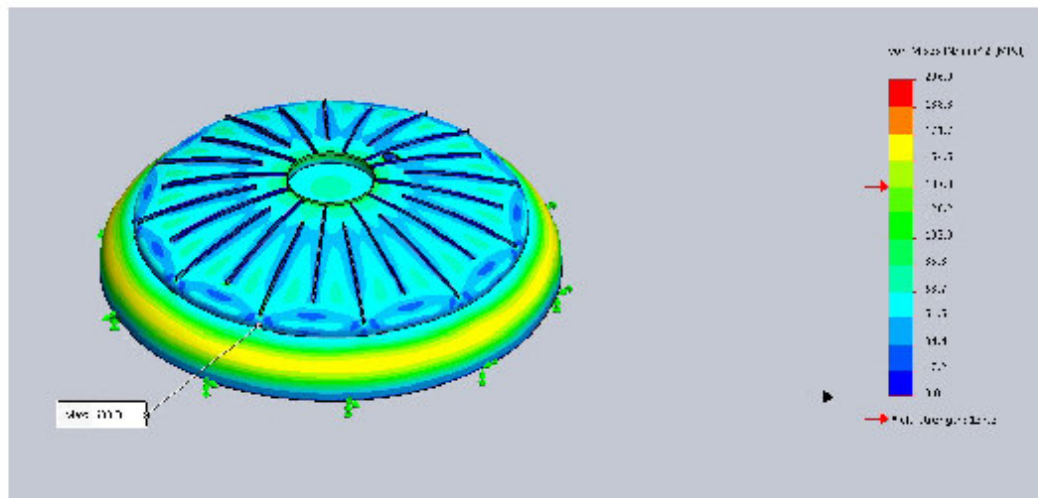


**SOLIDWORKS** Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich



Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich

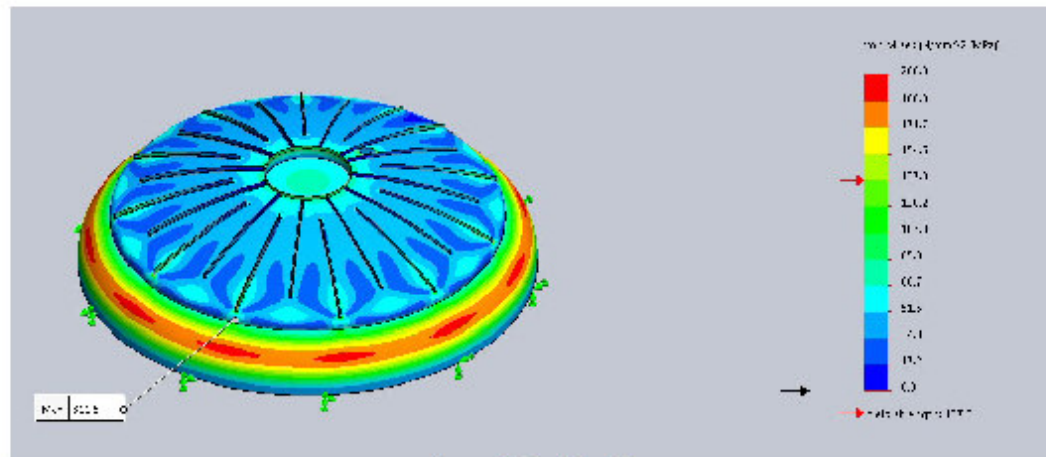


Image-3 - Load Case 3

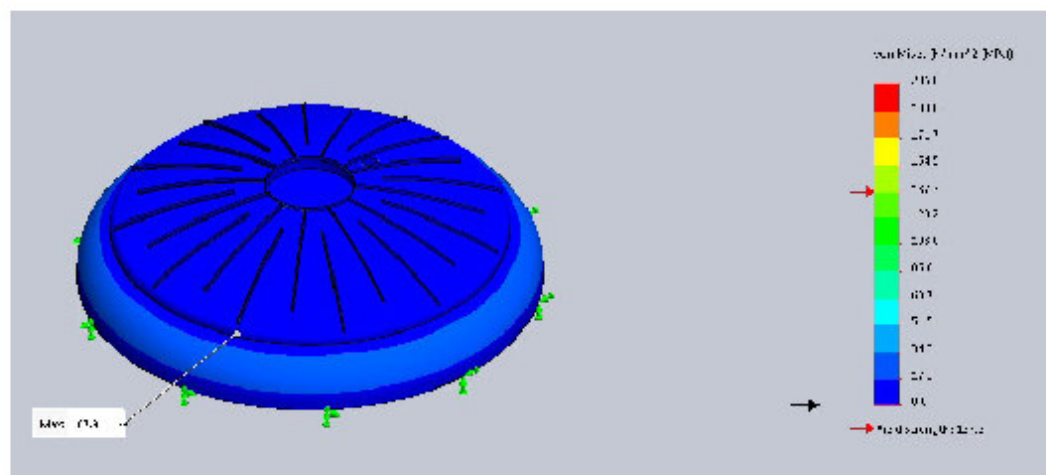


Image-4 - Load Case 4

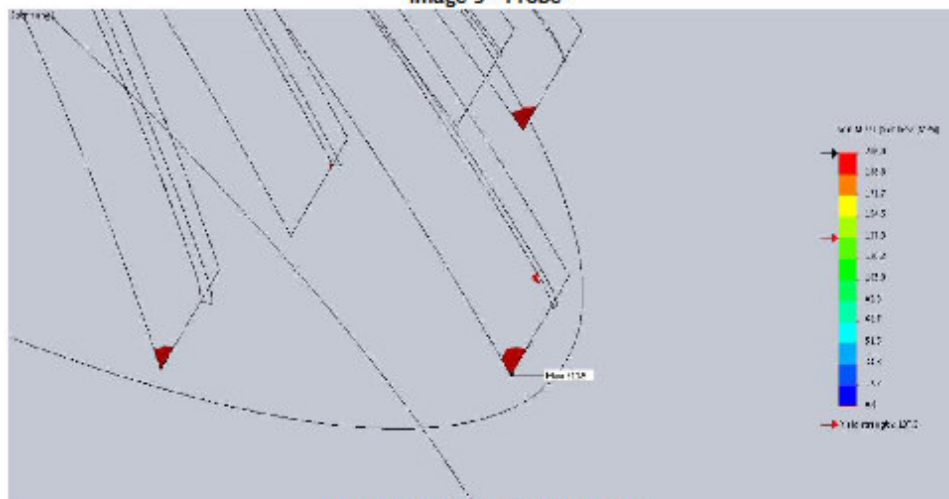
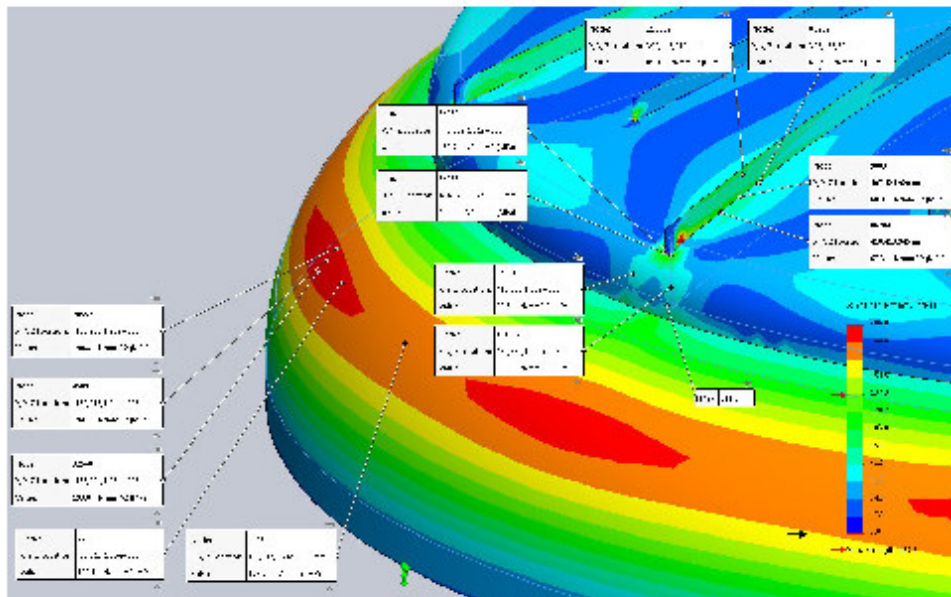


Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich



Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating



Landesgesellschaft  
Österreich

## Conclusion

### Restriction of the primary and secondary equivalent stress and equivalent stress range

$$P_m \leq f$$

$$P_l \leq 1,5 \times f$$

$$(P_m + P_b) \text{ oder } (P_l + P_b) \leq 1,5 \times f$$

$$(P_m + P_b + Q) \text{ oder } (P_l + P_b + Q) \leq 3 \times f$$

$$P_e \leq 3 \times f$$

$P_m$  ... primary global membrane stress

$P_l$  ... primary local membrane stress

$P_b$  ... primary bending stress

$Q$  ... secondary stress

$P_e$  ... stress due to restraints

The maximum occurring stress of 811,6 N/mm<sup>2</sup> has to be rated as singularity.

The remaining global and local membrane stress is lower than the maximum allowable membrane stress acc. AD2000 S4.

The design of the Star Heating satisfies the requirements of the AD2000-Merkblätter.



Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

Simulation of Star Heating



#### **4.1.2 Ergebnis der FEM-Berechnung für die sternförmige Bodenheizung**

Bei der Berechnung der Bauteile wurde mit der benannten Stelle vereinbart, dass unabhängig vom Regelwerk AD2000 ein Sicherheitsfaktor von 1,1 auf die Streckgrenze gesetzt wird, da diese nicht voll ausgereizt werden soll und noch Reserve vorhanden ist.

Die Bewertungen der Spannungsspitzen wurden nach dem Regelwerk AD2000 S4 (Bewertungen von Spannungen bei rechnerischen und experimentellen Spannungsanalysen) durchgeführt.

**Folgende Mindestwanddicken wurden mit der FEM-Berechnung ermittelt:**

Behälterboden	9 mm
Gewölbte Scheibe:	6 mm
Rippendicke:	6 mm

#### **Fazit:**

Somit kann für den Behälterboden eine Einsatzwanddicke von 10 mm und für die gewölbte Scheibe eine Einsatzwanddicke von 8 mm und eine Rippendicke von 6 mm realisiert werden. Dies bedeutet eine Wanddickenreduktion von 2 mm bei beiden Böden und 4 mm bei den Rippen.

Hinsichtlich Schweißung der Rippe am Behälterboden (siehe Abbildung 5) kann eine doppelte Kehlnahtschweißung  $a = 0,5 \times s_R \rightarrow$  mit 3 mm ausgeführt werden, da eine Rippendicke von 6 mm ausreichend ist.

Somit kann auch die Schweißnaht zwischen Versteifungsrippen und gewölbter Scheibe (siehe Abbildung 41) mit  $a = 0,5 \times s_R \rightarrow$  mit 3 mm ausgeführt werden.

**Dadurch ergibt sich jetzt schon eine erhebliche Kostenersparnis hinsichtlich Material und Fertigung!!!!**

## 4.2 Untersuchung auf Verzicht der Schweißkantenanarbeitung

Bevor Werkstücke miteinander verschweißt werden können, müssen die Schweißkanten vorbereitet werden. Dies ist einerseits notwendig, um eine optimale Maßhaltigkeit zu erreichen und andererseits wichtig, damit keine unerwünschten Stoffe in das Schweißbad gelangen, welche die Qualität der Schweißnähte negativ beeinflussen könnten.

Die Schweißkantenanarbeitung an der sternförmigen Bodenheizung zwischen gewölbter Scheibe und Rippe ist durch die Wölbung sehr schwer auszuführen und ziemlich kostenintensiv, da diese bis jetzt durch Handarbeit mittels Schleifen aufgebracht werden muss. Am besten wäre eine Lösung auf die Schweißkantenanarbeitung verzichten zu können.

Dies wurde anhand einiger Vorschläge vorab mit der Produktion und mit den Schweißtechnologien der Firma ENCO Energie Komponenten ausgearbeitet und diskutiert. Zu diesem Zeitpunkt stand die Finite Elemente Berechnung noch nicht zur Verfügung.

### Variantenvergleich der Schweißnaht zw. gewölbter Scheibe und Rippe:

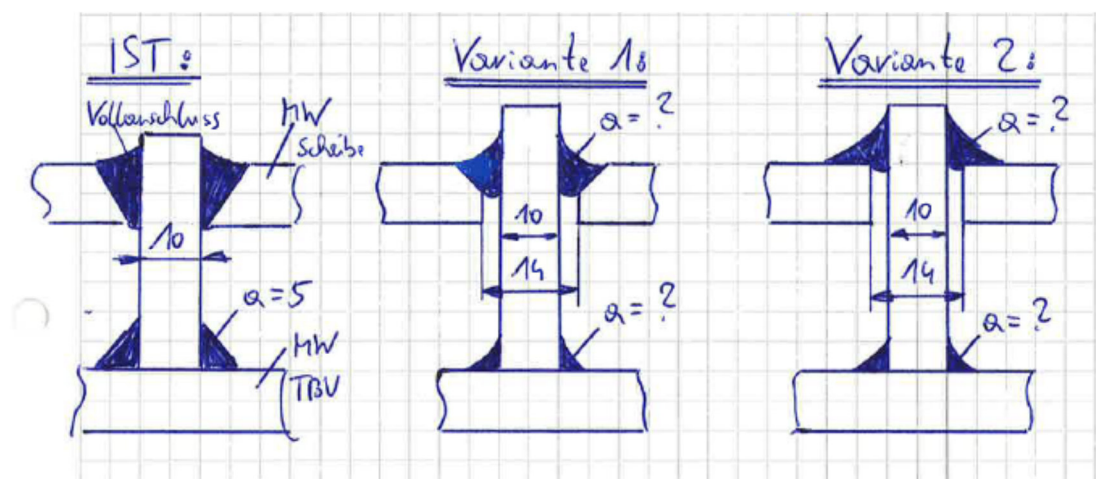


Abbildung 53: Variantenvergleich von Schweißnähten 1

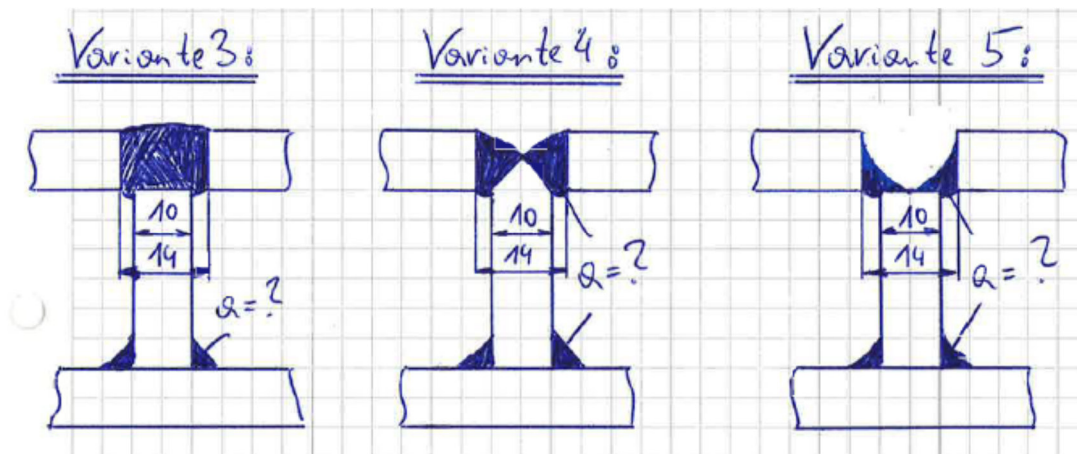


Abbildung 54: Variantenvergleich von Schweißnähten 2

### Diskussionsergebnis zu den skizzierten Varianten:

Bei der Diskussion der skizzierten Varianten wurden von allen beteiligten Abteilungen die Varianten IST und 1 als erstes ausgeschlossen, da die Schweißfase mittels Handarbeit (schleifen) sehr kostenintensiv aufgebracht werden muss. Bei Variante 4 kann die Schweißfase maschinell auf die Rippe aufgebracht werden, jedoch wird bei den Varianten 2, 3 und 5 keine Schweißkantenanarbeitung benötigt darum wurden diese näher betrachtet. Bei Variante 3 ist der Schweißaufwand zwischen gewölbter Scheibe und Rippe zu aufwendig und kostenintensiv. Bei Variante 5 ist der Montageaufwand gegenüber Variante 2 zu aufwendig und kompliziert da der Schweißspalt zwischen Scheibe und Rippe aufgrund der Wurzelschweißung gleich sein müssen. Aufgrund dieser Tatsachen wurde die Variante 2 ausgewählt, wobei hier die Gefahr der Spaltkorrosion bzw. dass die Wurzelschweißung nicht exakt formiert werden kann.

Aufgrund dieser Gefahren wurde eine Spaltbreite von mindestens 2 mm festgelegt um der Spaltkorrosion entgegen zu wirken und ein geeignetes Formiergas gewählt, dass eine höher Dichte als Luft bzw. Sauerstoff hat. Mit diesem Formiergas wird der Raum zwischen Tankboden und gewölbter Scheibe von unten gefüllt und die Schweißspalte mit Klebeband abgeklebt, damit der Sauerstoff im Hohlraum verdrängt wird und eine ordentliche formierte Wurzelschweißung entsteht.

### **Definition Spaltkorrosion<sup>24</sup>:**

Spaltkorrosion tritt an Metallteilen bei Vorhandensein eines korrosiven Mediums in engen, nicht abgeschlossenen Spalten wie Überlappungen, aufgesetzten Stegen und bei nicht durchgeschweißten Schweißnähten auf. Treibende Kraft sind Konzentrationsunterschiede zwischen dem Medium im Spalt und dem Bereich außerhalb des Spalts, welche durch die im Spalt gehemmte Diffusion der Reaktionspartner verursacht werden. Die mit dem Konzentrationsunterschied einhergehende Potentialdifferenz führt zu elektrochemischer Korrosion im Spalt (Wasserstofftyp) oder seiner direkten Umgebung (Sauerstofftyp). Selbst nichtrostende CrNi - Stähle können in Spalten korrodieren, wenn dort kein Sauerstoff zur Ausbildung der schützenden Oxidschicht vorhanden ist.

Die Auswahl eines korrosionsbeständigen Werkstoffes ist meist der wirtschaftlichste Weg der Korrosionsvermeidung. Weiterhin kann Spaltkorrosion unterbunden werden, indem man konstruktiv auf Spalte verzichtet oder diese so groß ausführt, dass die Diffusion der Medien nicht behindert wird. In DIN EN 12502-4 "Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle" wird angeraten, die Spaltweiten über 0,5 mm auszuführen, um Spaltkorrosion zu vermeiden, jedoch ist außer der Spaltweite auch die Spalttiefe von Bedeutung.

### **Definition Formieren<sup>25</sup>:**

Das Formieren ist ein Verfahren, das in der Schweißtechnik seit über 40 Jahren zur Anwendung kommt. Dabei trägt das Formieren nicht nur zu einer verbesserten Qualität der Schweißnähte bei, sondern kann bei korrekter Ausführung sogar eine Nachbearbeitung der Schweißnähte überflüssig machen. Dies wiederum bringt neben der Zeitersparnis auch eine Senkung der Folgekosten mit sich. Werden die Schweißnahtwurzel und die Wärmeeinflusszone mit Schutzgasen umspült, während gleichzeitig die sauerstoffhaltige Atmosphäre verdrängt wird, wird dieses Verfahren als Wurzelschutz bezeichnet.

<sup>24</sup> Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Spaltkorrosion>

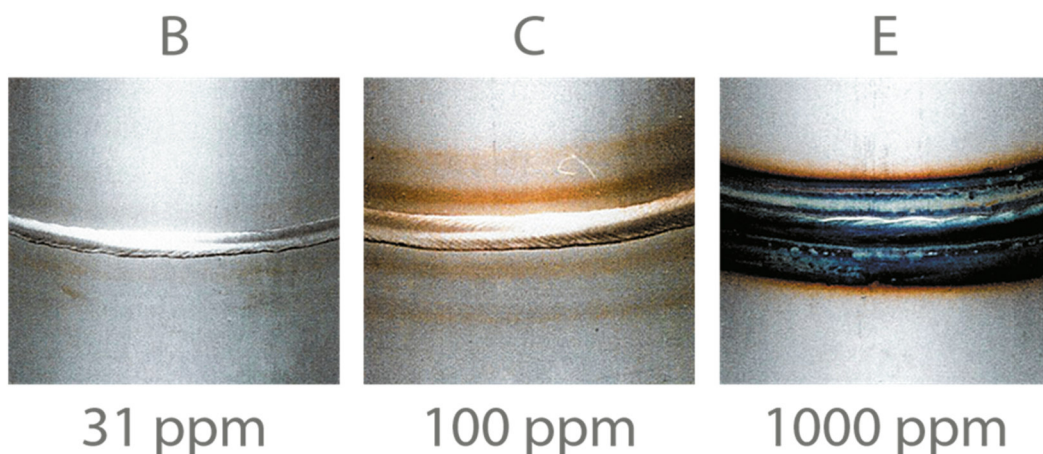
<sup>25</sup> Vgl. <http://www.anleitung-zum-schweissen.de/fachartikel-zum-thema-schweissen/fachinfos-zum-formieren/>

Findet dieses Verfahren im Zusammenhang mit Rohrleitungen und Behältern Anwendung, wird vom Formieren gesprochen.

Der Wurzelschutz und das Formieren kommen zum Einsatz, wenn gasempfindliche Werkstoffe schweißtechnisch verarbeitet werden. Auf diese Weise soll die Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe sichergestellt werden, denn ohne Formierung würden die Schweißwurzel und die Wärmeeinflusszone durch die sauerstoffhaltige Atmosphäre oxidieren.

Werden Formiergase verwendet, die eine höhere Dichte haben als Luft, wird der Behälter von unten nach oben befüllt. Im oberen Bereich ist er mit einer Entlüftung ausgestattet, durch die die verdrängte Atmosphäre abgeleitet werden kann. Werden Formiergase verwendet, deren Dichte geringer ist als die von Luft, ist die Funktionsweise des Mechanismus umgekehrt. Besteht ein großer Dichteunterschied zwischen dem Formiergas und der Luft, können unter anderem beim Formieren von Rohrleitungen Gasgemische eingesetzt werden, die die gleiche Dichte haben wie Luft.

## Anlauffarben bei unterschiedlichem Restsauerstoffgehalt.



**Abbildung 55: Wurzelschweißnähte<sup>26</sup>**

<sup>26</sup> Vgl. <http://www.isoarc.ch/produkte/schweisszubehoer/sonderzubehoer/sonderzubehoer-sortiment/formiergas-zylinder-typ-sc/formiergas-zylinder-typ-sc.php>

### 4.3 Prüfung von Fertigungsmöglichkeiten hinsichtlich gegenw. Technologien

Das Ausbrennen der Schlitze mittels manueller Plasmaschneidanlage ist sehr ungenau und unregelmäßig. Dadurch muss mittels Schleifen der Schlitze ein sehr hoher Aufwand betrieben werden. In der heutigen Zeit sind 3D - Schneidanlagen bzw. Roboterschneidanlagen Stand der Technik. Diese werden mittlerweile bei Herstellern von gewölbten Böden angeschafft um der großen Nachfrage von Behälterherstellern, Ausschnitte in Böden zu schneiden, Herr zu werden.

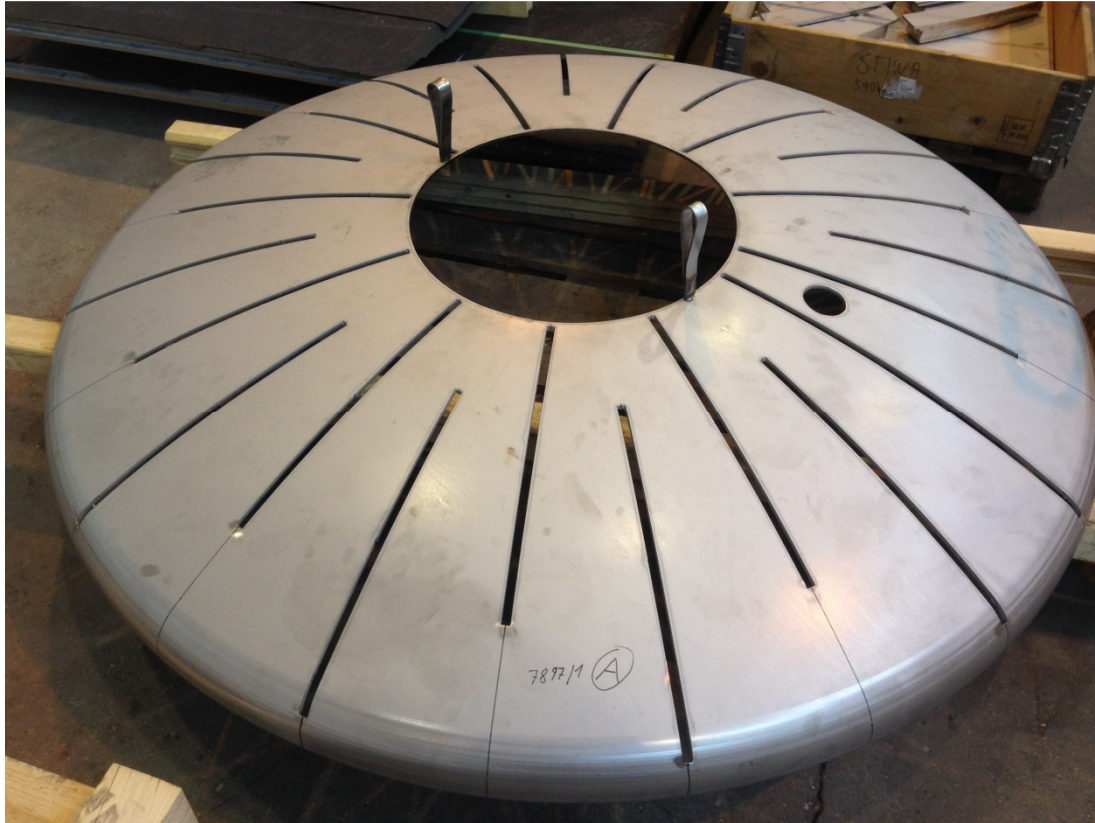
Nach Rücksprache mit den Böden Lieferanten von ENCO Energie Komponenten und nach einigen Testschnitten an gewölbten Scheiben wurde die Zusage erteilt die Längsschnitte für die Rippen maschinell mittels 3D – Schneidanlage fertigen zu können.



Abbildung 56: 3D – Plasmaschneidanlage<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Vgl. <http://www.microstep-europa.de/de/schneidanlagen/18--drm-plasmaschneidanlage-bohranlage.aspx>





**Abbildung 57: Präzisionsschnitt mit 3D – Schneidanlage**



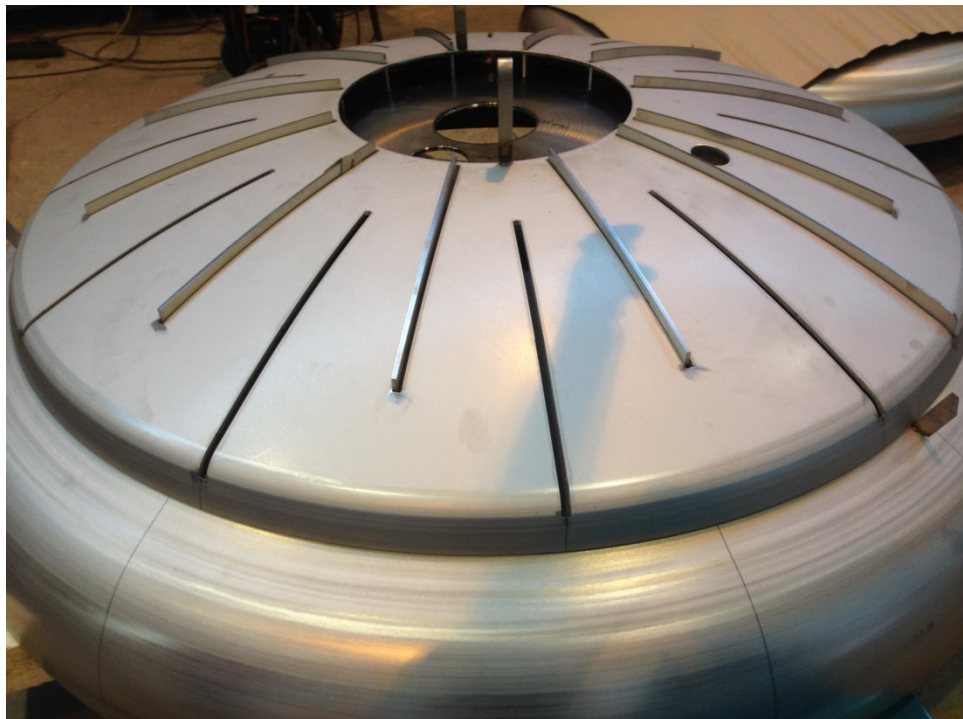
**Abbildung 58: Nahaufnahme der Präzisionsschnitte**

## 4.4 Zukünftige Herstellung der Bodenheizung

Die zukünftige Herstellung der Sternheizung wird auf Grund der gegenwärtigen Technologien mit maschinellen Herstellungsverfahren hergestellt.

### 4.4.1 Arbeitsablauf

1. Anheften der Versteifungsrippen auf den Behälterboden. Hierbei ist die gewölbte Scheibe auf dem Behälterboden montiert, damit bei der Endmontage die Scheibe mit den aufgeschweißten Versteifungsrippen am Behälterboden deckungsgleich ist.



**Abbildung 59: Anheften der Versteifungsrippen**

2. Ausschweißen der Rippen am Behälterboden und anschließendes Passivieren der Schweißnähte. Dieser Arbeitsgang hat sich zum ursprünglichen Fertigungsablauf nicht geändert. (siehe Abbildung 48)



3. Richten der Rippen und gleichzeitiges montieren und heften der gewölbten Scheibe auf den Behälterboden. Durch die aus der FE Berechnung resultierende Verkleinerung der Schweißnaht auf ein a-Maß von 3 mm müssen die Rippen nahezu nicht mehr nachgerichtet werden.



**Abbildung 60: Rippen gerichtet und geheftet**

4. Ausschweißen der Rippen an der gewölbten Scheibe unter Füllung von Formier Gas. Durch den Verzicht der Schweißkantenvorbereitung reicht auch hier ein a-Maß von 3 mm und dies kann nur mit 2 Schweißlagen ausgeführt werden.



**Abbildung 61: Wurzelschweißung (1. Schweißlage)**



**Abbildung 62: Decklage (2. Schweißlage)**

5. Manuelle Wurzelschweißung der Anbindung zwischen gewölbter Scheibe und Behälterboden.



**Abbildung 63: Wurzelschweißung Boden/Scheibe**

6. Maschinelle Mehrlagenschweißung der Anbindung zwischen gewölbter Scheibe und Behälterboden.



**Abbildung 64: Maschinelle Mehrlagenschweißung**

## **4.5 Fazit**

Durch die Umstellung der Berechnung auf Finite Elemente Methode und der Fertigung auf gegenwärtige Technologien konnten die Wanddicken der Sternheizung reduziert und einige Arbeitsgänge eingespart und die Qualität der Verarbeitung gesteigert werden. Dies hat wiederum einen erheblichen Einfluss auf die Material- und Fertigungskosten.



## 5 Einsparung von Kosten hinsichtlich Material und Fertigung

In diesem Kapitel wird die Einsparung der zu erwartenden Kosten für die sternförmige Bodenheizung aufgezeigt. Hierzu wird ein Vergleich zwischen Materialbeschaffung und gegenwärtiger Herstellung mittels konventionellen Herstellungsverfahren und zukünftiger Herstellung mittels neuer Technologien bzw. Herstellungsverfahren aufgestellt. Des Weiteren werden die Kosten für einen kompletten Druckbehälter gegenübergestellt um die Einsparung auf den gesamten Behälter aufzuzeigen.

Die Preise für die Klöpperboden, der gewölbten Scheibe und die Rippen wurden im Mai 2017 bei A-Lieferanten der Firma ENCO Energie Componenten neu angefragt und zum Vergleich der Kostengegenüberstellung herangezogen, da der Materialpreis für hochlegierte Stähle (Chrom – Nickel – Stähle) sehr stark vom Legierungszuschlag abhängt. Unter dem Legierungszuschlag (LZ) versteht man den Bestandteil des Verkaufspreises, der neben dem Grundpreis von Stahlproduzenten und -händlern bei Edelstahl erhoben wird. Er wird monatlich neu festgelegt und ist für den gesamten Monat gültig. Die Höhe des Legierungszuschlages ist abhängig von der Preisentwicklung der den Edelstählen zugesetzten Legierungselemente Chrom, Nickel, Titan, Molybdän und Niob an der London Metal Exchange.

Die Fertigungszeiten für die sternförmige Bodenheizung basieren auf den aktuellen Kalkulationsmasken, die mit einer Software für Tabellenkalkulation erstellt wurden und den derzeitigen Fertigungsmöglichkeiten (Stand Mai 2017) in der Produktion von der Firma ENCO Energie Componenten.



## 5.1 Kostenaufstellung bei gegenwärtiger Herstellung

<b>Materialkosten:</b>				
	<b>Stück:</b>	<b>EW:</b>	<b>Preis/St.:</b>	<b>Preis:</b>
<b>Bezeichnung:</b>				
Behälterboden	1 St.	12,0 mm	4.850 €	4.850 €
Gewölbte Scheibe	1 St.	12,0 mm	3.320 €	3.320 €
Rippen Laser geschnitten	23 St.	10,0 mm	35 €	805 €
<b>Materialkosten gesamt für Bodenheizung:</b>				<b>8.975 €</b>
<b>Fertigungszeiten:</b>				
	<b>Stück:</b>	<b>Länge:</b>	<b>Zeit/Einheit:</b>	<b>Zeit:</b>
<b>Arbeitsschritte:</b>				
1. Anreißen der Ausschnitte	23 St.		0,20 h/St.	4,60 h
2. Ausbrennen der Schlitz	23 St.		0,30 h/St.	6,90 h
3. Abschleifen der Verzunderung	23 St.	753 mm	0,75 h/m	12,99 h
4. Anheften der Versteifungsrippen	23 St.		0,20 h/St.	4,60 h
5. Ausschweißen der Rippen am Behälterboden	23 St.	753 mm	0,50 h/m	8,66 h
6. Ausschweißen Innenring am Behälterboden	1 St.	1570 mm	0,50 h/m	0,79 h
7. Richten der Rippen + Heften Scheibe	23 St.		0,33 h/St.	7,59 h
8. Wurzelschweißung Rippe/Scheibe	23 St.	753 mm	1,00 h/m	17,32 h
9. Zwischenlagenschweißung 1 Rippe/Scheibe	23 St.	753 mm	0,50 h/m	8,66 h
Zwischenlagenschweißung 2 Rippe/Scheibe	23 St.	753 mm	0,50 h/m	8,66 h
10. Decklagenschweißung Rippe/Scheibe	23 St.	753 mm	0,75 h/m	12,99 h
11. Wurzelschweißung Innenring/Scheibe	1 St.	1570 mm	1,00 h/m	1,57 h
12. Zwischenlagenschweißung 1 Innenring/Scheibe	1 St.	1570 mm	0,50 h/m	0,79 h
Zwischenlagenschweißung 2 Innenring/Scheibe	1 St.	1570 mm	0,50 h/m	0,79 h
13. Decklagenschweißung Innenring/Scheibe	1 St.	1570 mm	0,75 h/m	1,18 h
14. Wurzelschweißung Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	1,00 h/m	7,07 h
15. Zwischenlagenschweißung 1 Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	0,50 h/m	3,54 h
Zwischenlagenschweißung 2 Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	0,50 h/m	3,54 h
Zwischenlagenschweißung 3 Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	0,50 h/m	3,54 h
16. Decklagenschweißung Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	0,75 h/m	5,30 h
<b>Fertigungszeit gesamt für Bodenheizung:</b>				<b>121,05 h</b>

## 5.2 Kostenaufstellung bei zukünftiger Herstellung

<b>Materialkosten:</b>				
	<b>Stück:</b>	<b>EW:</b>	<b>Preis/St.:</b>	<b>Preis:</b>
<b>Bezeichnung:</b>				
Behälterboden	1 St.	10,0 mm	3.880 €	3.880 €
Gewölbte Scheibe	1 St.	8,0 mm	2.070 €	2.070 €
Rippen Laser geschnitten	23 St.	6,0 mm	19 €	430 €
Mehrpriis für Rippenausschnitte	1 St.	-	540 €	540 €
<b>Materialkosten gesamt für Bodenheizung:</b>				<b>6.920 €</b>
<b>Fertigungszeiten:</b>				
	<b>Stück:</b>	<b>Länge:</b>	<b>Zeit/Einheit:</b>	<b>Zeit:</b>
<b>Arbeitsschritte:</b>				
1. Anreißen der Ausschnitte	0 St.		0,20 h/St.	0,00 h
2. Ausbrennen der Schlitzte	0 St.		0,30 h/St.	0,00 h
3. Abschleifen der Verzunderung	0 St.	753 mm	0,75 h/m	0,00 h
4. Anheften der Versteifungsrippen	23 St.		0,20 h/St.	4,60 h
5. Ausschweißen der Rippen am Behälterboden	23 St.	753 mm	0,35 h/m	6,06 h
6. Ausschweißen Innenring am Behälterboden	1 St.	1570 mm	0,35 h/m	0,55 h
7. Richten der Rippen + Heften Scheibe	23 St.		0,20 h/St.	4,60 h
8. Wurzelschweißung Rippe/Scheibe	23 St.	753 mm	0,75 h/m	12,99 h
9. Zwischenlagenschweißung 1 Rippe/Scheibe	0 St.	753 mm	0,50 h/m	0,00 h
Zwischenlagenschweißung 2 Rippe/Scheibe	0 St.	753 mm	0,50 h/m	0,00 h
10. Decklagenschweißung Rippe/Scheibe	23 St.	753 mm	0,50 h/m	8,66 h
11. Wurzelschweißung Innenring/Scheibe	1 St.	1570 mm	0,75 h/m	1,18 h
12. Zwischenlagenschweißung 1 Innenring/Scheibe	0 St.	1570 mm	0,50 h/m	0,00 h
Zwischenlagenschweißung 2 Innenring/Scheibe	0 St.	1570 mm	0,50 h/m	0,00 h
13. Decklagenschweißung Innenring/Scheibe	1 St.	1570 mm	0,50 h/m	0,79 h
14. Wurzelschweißung Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	1,00 h/m	7,07 h
15. Zwischenlagenschweißung 1 Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	0,50 h/m	3,54 h
Zwischenlagenschweißung 2 Scheibe/Boden	0 St.	7070 mm	0,50 h/m	0,00 h
Zwischenlagenschweißung 3 Scheibe/Boden	0 St.	7070 mm	0,50 h/m	0,00 h
16. Decklagenschweißung Scheibe/Boden	1 St.	7070 mm	0,75 h/m	5,30 h
<b>Fertigungszeit gesamt für Bodenheizung:</b>				<b>55,33 h</b>

### 5.3 Skizze für die Berechnung der Fertigungszeiten

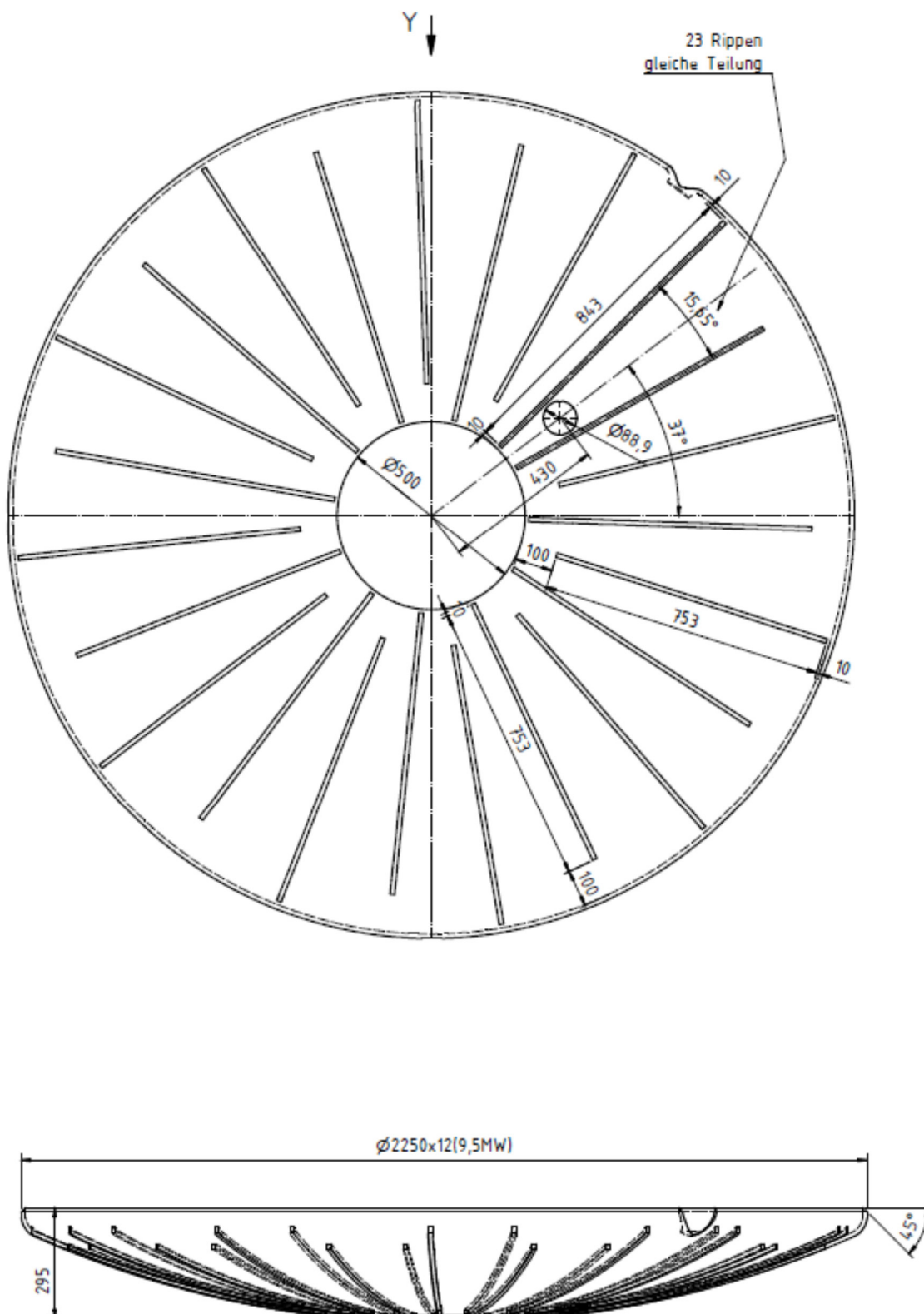
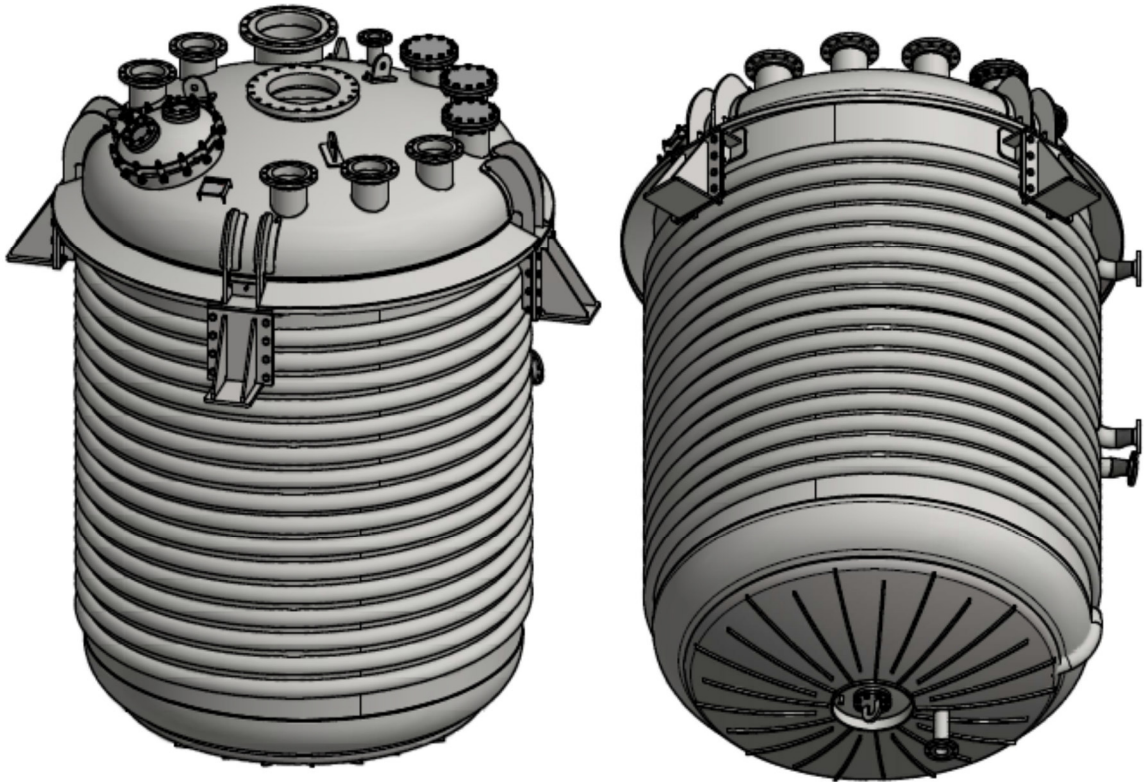


Abbildung 65: Skizze für Berechnung der Fertigungszeiten<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Komponenten, 4812 Pinsdorf, Austria

## 5.4 Fazit



**Abbildung 66: Rührbehälter 16m<sup>3</sup> aus Werkstoff 1.4571**

Für die Kostenberechnung wurde der Rührbehälter in Abbildung 66 dargestellt herangezogen. Dieser Behälter wurde im Jahr 2016 von der Firma ENCO Energie Componenten komplett aus Werkstoff 1.4571 (CrNi-Stahl) gefertigt. Der Verkaufspreis von diesem Behälter lag bei 106.000 €.

Vergleicht man hierzu die Kostenaufstellung bei gegenwärtiger und zukünftiger Herstellung, erkennt man eine netto Einsparung beim Material von 2.055 € und eine Reduktion der Fertigungszeit von rund 66 Stunden. Dies bedeutet eine Gesamtersparnis von 6.670 € bzw. eine Einsparung auf den gesamten Behälter von 6,3%. Die Einsparungen sind je nach Behältergröße und Ausführung verschieden, jedoch immer im positiven Bereich. Legt man diese Werte auf die in den letzten Jahren gefertigten Behälter mit einer sternförmigen Bodenheizung um, erkennt man sehr große Gewinneinbußen!

<sup>23</sup> Vgl. Konstruktion Fa. ENCO Energie Componenten, 4812 Pinsdorf, Austria



## 6 Schlussbetrachtung

In der heutigen Zeit wird es immer wichtiger als Produzent von Komponenten im Anlagenbau konkurrenzfähig zu sein. Dies erfordert neue Techniken und Produktionsmethoden einzuführen, um zeit- und kostensparend die Komponenten herstellen zu können.

Die Aufgabe der Diplomarbeit war es eine in die Jahre gekommene, in der Industrie sehr beliebte, sternförmige Bodenheizung eines Druckbehälters zu optimieren um diese kostengünstiger zu fertigen, da die Verkaufszahlen in diesem Bereich stark gesunken waren.

Dazu wurde zuerst die Berechnungsart der Festigkeitsberechnung in Frage gestellt, da diese sehr einfach und konservativ durchgeführt wurde. Die ursprüngliche Berechnungsart wurde zu einem Zeitpunkt festgelegt, wo der Kostendruck noch nicht so groß war und in weiterer Folge nie hinterfragt. Mittels einer FE - Berechnung wurde die Festigkeitsberechnung überprüft und das Ergebnis war eine deutliche Wanddickenreduktion der druckbelastenden Bauteile.

Des Weiteren wurden die Fertigungsmethoden hinsichtlich gegenwärtiger und neuer Technologien gegenübergestellt. Mit den erarbeiteten Ergebnissen und der daraus resultierenden Umstellung in der Produktion war auch hier das Ergebnis einer massiven Einsparung der Fertigungszeit.

Auch die Qualität und Ausführung durch die Herstellung mittels neuer Technologien wurde damit massiv gesteigert.

Während der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit, wurden die Ergebnisse gleich in der Praxis angewendet. Mittlerweile konnten die Verkaufszahlen bzw. der Auftragseingang von Druckbehältern mit einer sternförmigen Bodenheizung beträchtlich gesteigert und die erwartenden Einsparungen hinsichtlich der Fertigung bestätigt werden.



# Literatur

- Innoweld 1988     [www.innoweld.at/index\\_88\\_88\\_10\\_290\\_1\\_0\\_.html](http://www.innoweld.at/index_88_88_10_290_1_0_.html)
- Springer 1997     [http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-19981-3\\_97](http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-19981-3_97)
- Tube Tec 1999     [www.tube-tec.de/de/produkte/rohrschlangensysteme](http://www.tube-tec.de/de/produkte/rohrschlangensysteme)
- Klassifizierung  
Reaktoren 2011     [www.uni-due.de/tchem/as/skripte/TC%20II%20Kap\\_4.pdf](http://www.uni-due.de/tchem/as/skripte/TC%20II%20Kap_4.pdf)
- Schweißtechnik  
2012     [www.schweisstechnik.at/detail/unschweisbares-schweissen\\_74112](http://www.schweisstechnik.at/detail/unschweisbares-schweissen_74112)
- DAVI Profilbie-  
gemaschine     [www.davi.com/de/de/Profilbiegemaschinen\\_MCP](http://www.davi.com/de/de/Profilbiegemaschinen_MCP)
- Halbroherschlan-  
ge Theis 2017     [www.dynaflex.ch/54-0-Halbroherschlangen-Theis.html](http://www.dynaflex.ch/54-0-Halbroherschlangen-Theis.html)
- Halbroherschlan-  
ge     [www.best-baumann.de/](http://www.best-baumann.de/)
- Halbroherschlan-  
ge Theis 1999     [www.theis-tubes.com/produkte-theiss/halbrohre-theiss/](http://www.theis-tubes.com/produkte-theiss/halbrohre-theiss/)

Polysoude Halbroherschlan ge schweißen	<a href="http://www.polysoude.com/images/stories/documents/german/Halbroherschlangen.pdf">www.polysoude.com/images/stories/documents/german/Halbroherschlangen.pdf</a>
Hinke Halbroherschlan ge schweißen 2015	<a href="http://www.hinke.com/unternehmen/maschinenpark/">www.hinke.com/unternehmen/maschinenpark/</a>
Glatt ist Gut Halbroherschlan ge schweißen	<a href="http://www.glattistgutgmbh.de/leistungen/">www.glattistgutgmbh.de/leistungen/</a>
Pillow Plates 2016	<a href="https://pillowplate-waermetauscher.com/2016/06/28/was-sind-pillow-plates/">https://pillowplate-waermetauscher.com/2016/06/28/was-sind-pillow-plates/</a>
CITAL Pillow Plates 2016	<a href="http://www.kpwtcc.com/wp-content/uploads/2016/04/04-Cital-dimple-plates.pdf">http://www.kpwtcc.com/wp-content/uploads/2016/04/04-Cital-dimple-plates.pdf</a>
Mosman Pillow Plates 2015	<a href="http://www.mosman.nl/products/product/pillow-plates-1">http://www.mosman.nl/products/product/pillow-plates-1</a>
Doppelmantel- behälter 2014	<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelmantelbehälter">https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelmantelbehälter</a>
Strömungsdüse	<a href="http://www.wikiwand.com/de/Strömungsdüse">http://www.wikiwand.com/de/Strömungsdüse</a>
Spaltkorrosion 2015	<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Spaltkorrosion">https://de.wikipedia.org/wiki/Spaltkorrosion</a>
Formieren 2017	<a href="http://www.anleitung-zum-schweissen.de/fachartikel-zum-thema-schweissen/fachinfos-zum-formieren/">http://www.anleitung-zum-schweissen.de/fachartikel-zum-thema-schweissen/fachinfos-zum-formieren/</a>

Anlauffarben bei unterschiedlichem Restsauerstoffgehalt <http://www.isoarc.ch/produkte/schweisszubehoer/sonderzubehoer/sonderzubehoer-sortiment/formiergas-zilinder-typ-sc/formiergas-zilinder-typ-sc.php>

Microstep 3D – Schneidanlage 2017 <http://www.microstep-europa.de/de/schneidanlagen/18--drm-plasmaschneidanlage-bohranlage.aspx>

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerhard Gebhardt, der meine Diplomarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Auch mein Vorgesetzter Herr DI (FH) Jochen Distler und meine Kollegen haben maßgeblich daran mitgewirkt, dass diese Diplomarbeit nun in dieser Form vorliegt. Vielen Dank, dass Sie mir die Möglichkeit geben, bei Ihnen zu entwickeln und zu arbeiten.

# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Pinsdorf, den 07.Juni.2017

Christian Steinbichler